

## Matalat meluesteet raidemelun torjunnassa



Laura Soosalu - Hanna-Maija Innanen



Ratahallintokeskuksen  
julkaisu A 10/2009

## Matalat melusteet raidemelun torjunnassa

Laura Soosalu  
Hanna-Maija Innanen

Helsinki 2009

**Ratahallintokeskus**

Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 10/2009

ISSN 1455-2604

ISBN 978-952-445-299-1

Verkkojulkaisu pdf ([www.rhk.fi](http://www.rhk.fi))

ISSN 1797-6995

ISBN 978-952-445-300-4

Kannen ulkoasu: Proinno Design Oy, Sodankylä

Kansikuva: Laura Soosalu

Paino: Kopijyvä Oy, Kuopio

Helsinki 2009

**Soosalu, Laura – Innanen, Hanna-Maija: Matalat meluesteet raidemelun torjunnassa, selvitys.** Ratahallintokeskus, Investointiosasto. Helsinki 2009. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 10/2009. 64 sivua. ISBN 978-952-445-299-1, ISBN 978-952-445-300-4 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

## TIIVISTELMÄ

Matalat meluesteet raidemelun torjunnassa selvitykseen on koottu tietoa meluntorjunnan tilasta, tavoitteista ja tarpeista rataverkolla. Tavoitetta vähentää v. 2003 melualueilla asuvien määrää vähintään 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä on nykyisellä rahoituksella vaikea saavuttaa.

Kestävän kehityksen mukainen kaupunki- ja taajamarakenteen tiivistäminen tarkoittaa käytännössä sitä, että radanvarsia kaavoitetaan yhä enenevässä määrin asuinalueiksi. Liikennemäärien lisääntyessä yhä useampi kokee melun häiritseväenä ympäristöhaittana.

Raideliikenteen meluntorjunnan ensisijaisena tavoitteena on vähentää syntyvän melun määrää. Meluntorjuntaan on kehitteillä myös erilaisia junakalustoon liittyviä teknisiä ratkaisuja. Nämä eivät kuitenkaan ole riittävän tehokkaita ja nopeita keinoja vähentää melusta aiheutuvia haittavaikutuksia. Melua joudutaan myös torjumaan erilaisin rakenteellisin ratkaisuin, mm. meluaidoin. Meluaita ei aina ole sopivin ratkaisu meluongelmaan. Se on usein rakenteena taajamakuvallisesti hallitseva ja rakentamiskustannuksiltaan kallis. Edellä mainituista syistä on nähty tarpeelliseksi selvittää, ovatko matalat meluesteet vaihtoehto meluaidalle.

Selvitykseen on koottu tietoa erilaisista käytössä olevista matalista meluntorjuntarakenteista. Erityisesti on lähtökohdaksi otettu ruotsalainen Z-bloc-tuotemerkki, jota valmistaja on kehittänyt yhteistyössä Banverketin kanssa. Kyseinen meluestetyyppi on koekäytössä useissa kohteissa Ruotsissa ja Norjassa.

Selvitystyössä on tutkittu matalan meluesteen teknistä soveltuvuutta, meluntorjuntaominaisuuksia sekä arvioitu alustavia rakentamiskustannuksia. Työn aikana on haastateltu VR Osakeyhtiön ja Oy VR-Rata Ab:n sekä Ratahallintokeskuksen asiantuntijoita mm. kunnossapitoon, turvallisuuteen ja erikoiskuljetuksiin liittyvissä kysymyksissä. Lähtökohtana meluesteen tekniselle mitoitukselle ovat olleet radan suunnitteluun liittyvät ohjeet, jotka määrittelevät erilaisten laitteiden ja rakenteiden sijainnin, näkyvyyden ja turvaetäisyydet. Selvitystyössä on arvioitu, onko niistä joiltain osin mahdollista poiketa tai voidaanko niitä soveltaa. Erikorkuisten matalien esteiden meluntorjuntaominaisuuksia on selvitetty kahdessa esimerkkikohteessa, Lappeenrannassa välillä Mäntylä–Harapainen sekä Tampereen Järvensivulla.

Johtopäätöksenä todettiin matalan meluesteen soveltuvan paikasta riippuen hyvin meluntorjuntarakenteeksi. Se on sovitettavissa teknisesti ratapoikkileikkaukseen. Este torjui melua tehtyjen esimerkkilaskentojen perusteella parhaimmillaan 7–9 dB. Esteen meluntorjuntaominaisuudet on kuitenkin osoitettava kaikissa tapauksissa melulaskennoin.

Matala melueste sijaitsee lähellä raidetta, joten se hidastaa ja estää raiteelta poistumista. Työ- ja junaturvallisuuden vuoksi radalla tapahtuvat huolto- tai korjaustyöt on tehtävä meluesteen kohdalla liikenne keskeytettynä. Tämän vuoksi matalan meluesteen käyttäminen hidastaa joidenkin huolto- ja korjaustöiden tekemistä.

Alustaviksi valmistus- ja rakentamiskustannuksiksi betonirakenteiselle matalalle meluesteelle arvioitiin n. 400–800 €/jm. Esteen kustannuksiin vaikuttavat materiaalin ja asennustyön lisäksi mm. mahdollinen penkereen levitys.

Selvitystyön ohella on laadittu tuotevaatimukset ”Matalan meluesteen käyttäminen rautatiemelun torjumiseen”, jonka keskeinen sisältö on koottu tähän selvitykseen.



**Soosalu, Laura–Innanen, Hanna-Maija: Bekämpning av spårbuller med låga bullerskärmar, utredning.** Banförvaltningscentralen, Investeringsavdelningen. Helsingfors 2009. Banförvaltningscentralens publikationer A 10/2009. 64 sidor. ISBN 978-952-445-299-1, ISBN 978-952-445-300-4 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

## SAMMANDRAG

Utredningen Bekämpning av spårbuller med låga bullerskärmar samlar information om buller-bekämpningens läge, dess mål samt behoven längs bannätet. Målet att minska antalet människor som bor på bullerområde med 20 % från år 2003 års nivå före år 2020 är svårt att uppnå med den nuvarande finansieringen.

Tätare stads- och tätortsbyggande, som uppfyller principerna för hållbar utveckling, innebär i praktiken att bostadsområden allt mer planläggs längs järnvägsbanorna. Då trafikmängden ökar upplever allt fler bullret som en störande miljöeffekt.

Det primära syftet med att bekämpa bullret från bantrafiken är att reducera det uppkomna bullret. För bullerbekämpningen utvecklas också olika tekniska lösningar för tågagnar. Dessa är ändå inte tillräckligt effektiva eller snabba metoder för att minska på bieffekterna som orsakas av bullret. Bullret måste också bekämpas med olika strukturella lösningar, bl.a. bullerstaket. Bullerstaket är inte alltid den lämpligaste lösningen för att lösa bullerproblemet. Som konstruktion är den ofta förhärskande i tätortsbilden och dyr att anlägga. Av ovan nämnda orsaker har det ansetts vara nödvändigt att utreda om låga bullerskärmar är ett alternativ till bullerstaketen.

I utredningen finns det information om olika låga bullerbekämpningskonstruktioner som är i användning. Särskild fokus har lagts på det svenska varumärket Z-bloc, som tillverkaren har utvecklat i samarbete med Banverket. Denna typ av bullerskärm provanvänds på flera olika håll i Sverige och Norge.

I utredningen undersöktes den låga bullerskärmens tekniska lämplighet, skärmdämpningsegenskaper samt uppskattades preliminära kostnader för byggnation. Under arbetets gång har experter på VR Aktiebolag och Oy VR-Rata Ab samt Banförvaltningscentralen intervjuats i frågor rörande bl.a. underhåll, säkerhet och specialtransporter. Utgångspunkten för bullerskärmarnas tekniska dimensionering låg i anvisningar för bankonstruktion, som fastställer placering, synlighet och skyddsavstånd för utrustningar och konstruktioner. I utredningsarbetet uppskattades om det är möjligt att avvika från dessa i någon mån eller om de kan tillämpas. Skärmdämpningsegenskaperna för låga bullerskärmar med olika höjd har utretts i två modellinstallationer: i Villmanstrand på avsnittet Mäntylä–Harapainen och i Järvensivu i Tammerfors.

Slutsatsen drogs att låga bullerskärmar lämpar sig väl för bullerbekämpning beroende på installationsplats. De kan tekniskt anpassas till bansektionen. Skärmen dämpade buller med upp till 7– dB baserat på de exempelkalkyler som utfördes. Skärmens bullerdämpningsegenskaper ska dock påvisas i varje enskilt fall med bullerkalkyler.

En låg bullerskärm ligger nära spåret, så den gör det långsammare och svårare att ta sig bort från spåret. På grund av arbetar- och tågsäkerheten ska underhålls- och reparationsarbeten på spåret utföras med trafiken avbruten där bullerskärmar installerats. Därför innebär användningen av låga bullerskärmar att vissa underhålls- och reparationsarbeten blir långsammare.

De preliminära tillverknings- och byggnationskostnaderna för en låg bullerskärm i betong uppskattades till cirka 400–800 €/löpmet. Kostnaderna för skärmarna påverkas förutom av material och installationsarbete också bl.a. av ett eventuellt behov att bredda banvallen.

Vid sidan av utredningen har produktspecifikationen ”Användning av låg bullerskärm för bekämpning av järnvägsbuller” upprättats, och dess centrala innehåll ingår i den här utredningen.



**Soosalu, Laura-Innanen, Hanna-Maija: Report on the use of low-level noise barriers in combating rail noise.** Finnish Rail Administration, Investment Department. Helsinki 2009. Publications of the Finnish Rail Administration A 10/2009. 64 pages. ISBN 978-952-445-299-1, ISBN 978-952-445-300-4 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

## SUMMARY

The report on the use of low-level noise barriers to combat rail noise contains information on the status, objectives and requirements of noise control in the rail network. Within the confines of current funding it will be difficult to achieve the objective of reducing, by the year 2010, by 20% the 2003 figure of people living in noise areas.

In practical terms, the consolidation of construction in cities and built-up areas, as required by sustainable development, means that more areas bordering on railways are being designated through zoning as areas for habitation. As the volume of traffic increases, more and more people will experience noise as a disruptive environmental nuisance.

The primary objective of rail traffic noise control is to reduce the volume of noise being generated. Various technical solutions for noise abatement, linked to the rolling stock, are in the planning stages. These methods, however, are not sufficiently effective or quick acting in reducing the harmful effects of noise. Noise also has to be controlled by means of different structural solutions, such as acoustic fencing. An acoustic fence, however, is not always the ideal solution to the problem of noise. Often it dominates excessively the built-up environment and it is costly to construct. For these reasons, it has been considered appropriate to examine the feasibility of using low-level noise barriers in place of acoustic fencing.

The report contains information on various low-level noise control structures which are in current use. More specifically, the study is based on the Swedish Z-bloc product, which has been developed in collaboration with Banverket. This type of noise control product is being trialled at various sites in Sweden and Norway.

The study focused on the technical applicability of a low-level noise barrier as well as assessing its noise abatement characteristics and preliminary construction costs. Experts from the Finnish State Railways and Oy VR-Rata Ab as well as the National Rail Administration were interviewed for the study on matters of maintenance, safety and exceptional transport. The technical specifications of the noise barrier are based on track design guidelines, which determine the placing, visibility and safety distances of the various equipment and structures. The study endeavours to assess whether it would be feasible to diverge from the guidelines partly or whether they can be applied to the noise barrier. The noise abatement characteristics of low-level noise barriers of different heights are studied in two sample locations, i.e. on the stretch between Mäntylä and Harapainen in Lappeenranta and in Järvensivu in Tampere.

The conclusion was that, depending on the location, a low-level barrier was well-suited to act as a noise control structure. Technically it can be accommodated into the railway profile. The sample calculations indicated that the barrier's noise abatement capability was at best 7-9 dB. Noise calculations must, however, be applied in all locations separately in order to verify the barrier's noise control characteristics. Because a low-level noise barrier is located near the track, it slows down and prevents people exiting the track. Therefore, for reasons of occupational and train safety, any track maintenance and repair work carried out next to the noise barrier must take place while traffic is stopped. Consequently, low-level noise barriers hinder certain maintenance and repair works.

Preliminary production and construction costs of a low-level noise barrier constructed of concrete are estimated to be about €400-800 per metre. Apart from the material and installation costs, the costs of the barrier will include any widening of the railway embankment. The product requirements, detailed in "Using low-level noise barriers to control noise from railways", are also summarised in this report.

## ESIPUHE

Raideliikenteestä aiheutuvien meluhaittojen lisääntyminen ja meluntorjunnan kasvavat kustannukset ovat johtaneet siihen, että tarvitaan uusia kustannustehokkaita ratkaisuja meluhaittojen torjumiseksi ja lieventämiseksi. Tässä työssä on koottu esimerkkejä erilaisista meluntorjuntaratkaisuksista ja selvitetty niiden toimivuutta ja soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin. Teknisten suunnitteluohjeiden lisäksi on haastateltu useita VR Osakeyhtiön, Oy VR-Rata Ab:n ja Ratahallintokeskuksen asiantuntijoita. Selvitystyön ohella on laadittu tuotevaatimukset, joiden keskeinen sisältö on myös tässä raportissa.

Tämä työ on laadittu Ratahallintokeskuksen toimesta. Tilaajan edustajina ovat toimineet ylitarkastaja Hannu Lehikoinen ja meluasiantuntija, ylitarkastaja Erkki Poikolainen.

Työn on tehnyt Destia Oy Infrasuunnittelu, jossa työstä on projektipäällikkönä vastannut maisema-arkkitehti Laura Soosalu. Pääsuunnittelijana on toiminut rakennesuunnittelija Ins. AMK Hanna-Maija Innanen ja geoteknisenä asiantuntijana dipl.ins. Tuomo Haapala. Melutarkasteluista on vastannut dipl.ins Sirpa Kolu. Raportin taiton on tehnyt suunnitteluassistentti Mervi Koivula.

Helsingissä, lokakuussa 2009

Ratahallintokeskus  
Investointiosasto



## SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SAMMANDRAG.....	4
SUMMARY.....	5
ESIPUHE.....	6
KÄSITELUETTELO.....	9
1 MELUNTORJUNNAN TILA JA TARPEET RATAVERKOLLA.....	10
1.1 Raideliikenteen meluntorjunnan lähtökohdat.....	10
1.2 Meluntorjunnan ohjearvot.....	11
1.3 Raideliikenteen melun erityispiirteet.....	11
2 RAIDELIIKENTEEN MELUNTORJUNNAN VAIHTOEHDOT JAMAHDOLLISUUDET.....	13
2.1 Työn tavoitteet.....	13
2.2 Meluhaittojen torjunta.....	13
2.2.1 Maankäyttö.....	13
2.2.2 Junakaluston ja raiteiden tekninen kehittäminen.....	14
2.3 Rakenteelliset meluntorjuntatoimenpiteet.....	16
2.3.1 Meluaita.....	16
2.3.2 Matalat meluesteet.....	21
2.3.3 Matalat kiskon viereen asennettavat meluntorjuntarakenteet.....	26
3 MELUNTORJUNNAN TEKNISET LÄHTÖKOHDAT.....	27
3.1 Ratatekniikan asettamat suunnitteluperusteet.....	27
3.1.1 Tekniset lähtökohdat.....	27
3.1.2 ATU .....	28
3.1.3 Kaarteet ja kallistukset.....	32
3.1.4 Sähköradan laitteet, opastimet ja merkit.....	33
3.1.5 Erikoiskuljetukset.....	38
3.2 Esteen rakenteelliset suunnitteluperusteet.....	41
3.2.1 Melunvaimennusvaatimukset.....	42
3.2.2 Esteenulkonäkö.....	42
3.2.3 Materiaalit.....	42
3.2.4 Esteenkuormitukset.....	44
3.2.5 Esteen paino, elementtien pituus ja siirrettävyys.....	46
3.2.6 Esteen perustaminen.....	46
3.3 Turvallisuus.....	47
3.3.1 Työskentely radalla.....	47
3.3.2 Lumenpoisto.....	48
3.3.3 Vaunujen kytkeminen ja jarrujen irrotus.....	48
3.3.4 Poistuminen junasta.....	48



3.3.5	Onnettomuustilanne.....	52
3.3.6	Ilkivalta.....	52
3.3.7	Turva-aidat.....	52
3.3.8	Maadoitus.....	52
4	MATALAN MELUESTEEN TOIMIVUUS.....	54
4.1	Mäntylä-Harapainen alueen laskennat.....	54
4.2	Järvensivun alueen kuvaus.....	55
4.3	Aikaisemmin esitetyt meluntorjuntatoimenpiteet.....	55
4.3.1	Matala melueste.....	56
4.3.2	Melulaskennat.....	56
4.3.3	Lähtötiedot.....	56
4.3.4	Tutkitut vaihtoehdot.....	58
4.3.5	Melutilanne ilman melukaidetta.....	58
4.3.6	Melutilanne melukaiteen kanssa.....	58
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	62
5.1	Tekniset ominaisuudet.....	62
5.2	Turvallisuus.....	62
5.3	Hinta.....	62
6	LÄHTEET.....	63

## KÄSITELUETTELO

**Aukean tilan ulottuma (ATU)** on pitkin raidetta ulottuva tila, jonka sisäpuolella ei saa olla kiinteitä rakenteita eikä laitteita. ATUn puolileveyden perusmittoja suurennetaan kaarteissa ja kallistuksessa Ratateknisten ohjeiden (RATO) osassa 2 esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

**Kaarre** käsittää vaaka- ja pystytasossa olevan normaalikaaren sekä siirtymäkaaret. Kaaren säde määritetään raiteen keskilinjan mukaan.

**Korkeusviiva (Kv)** on määritelty RATO:n osassa 2 Radan geometria.

**Raideväli** on vierekkäisten raiteiden keskilinjojen välinen lyhin etäisyys.

**Raiteen kallistus** määritetään raiteen sisä- ja ulkokiskon välisenä korkeuserona. Raiteen kallistus tehdään ulkokiskoa korottamalla.

**Ratapenger** koostuu radan rakennekerroksista ja mahdollisesta pengertäytteestä.

**Tukikerros** pitää raiteen geometrisesti oikeassa asemassa ja asennossa, jakaa kuormia alusrakenteelle ja muodostaa raiteelle tasaisen ja kantavan alustan.

**Välikerros** muodostaa tukikerrokselle tasaisen ja kantavan alustan ja estää tukikerroksen sekoittumisen alla oleviin rakennekerroksiin.

# 1 MELUNTORJUNNAN TILA JA TARPEET RATAVERKOLLA

## 1.1 Raidetieliikenteen meluntorjunnan lähtökohdat

Raidetieliikenteen meluntorjunnan tavoitteet on määritelty valtakunnallisessa meluntorjunnan toimintaohjelmassa v. 2004 sekä sen perusteella annetussa valtioneuvoston periaatepäätöksessä v. 2006.

Meluntorjunnan toimeenpanosuunnitelma on laadittu vuosille 2008–2011. Tavoitteena on, että v. 2020 yli 55 desibelin melualueilla asui vähintään 20 % vähemmän ihmisiä kuin vuonna 2003, sisämelutaso ei ylitä päivällä eikä yöllä valtioneuvoston antamia ohjearvoja ja oleskeluun tarkoitetuilla piha-alueilla päästään valtioneuvoston melutason ohjearvojen mukaisiin melutasoihin. Jos tämä ei ole mahdollista kustannusten tai paikallisten olosuhteiden vuoksi, tavoitteena on, ettei päivämelutaso ylitä 60 desibeliä eikä yömelutaso 55 desibeliä. Rautatieliikenteen osalta tämä tarkoittaa melulle altistuvien määrän vähentämistä 48 500 asukkaasta 38 500 asukkaaseen. /5/.

Liikenne- ja viestintäministeriön asettama työryhmä on meluntorjunnan teemapaketilla vuosille 2008–2012 tukenut tie- ja rautatieliikenteen meluntorjuntatoimenpiteiden toteutusta ja määritellyt hankkeet ja niihin käytettävissä olevan rahoituksen. Tästä huolimatta tulisi tie- ja rautatieliikenteen meluntorjunnan toteutukseen panostaa nykyistä enemmän. /7/.

*Taulukko 1. Raideliikenteen melualueilla asuvien määrä lääneittäin (YTV:n alue erikseen). Lähde: Altistuminen ympäristömelulle Suomessa, Suomen ympäristö 809 /1/.*

Taulukko Raideliikenteen melualueilla asuvien määrät päivällä (klo 7 - 22).

	55 - 60 dB	60 - 65 dB	yli 65 dB	Yhteensä	Vaihteluväli
YTV-alue	7 121	1 818	125	9 055	8 000 - 10 000
Etelä-Suomi*	10 152	2 351	398	12 901	11 500 - 14 000
Länsi-Suomi	13 418	3 836	929	18 183	16 500 - 20 000
Itä-Suomi	4 509	977	192	5 678	5 000 - 6 000
Pohjois-Suomi**	2 146	449	102	2 697	2 500 - 3 000
<b>Yhteensä</b>	<b>37 376</b>	<b>9 431</b>	<b>1 746</b>	<b>48 514</b>	<b>43 500 - 53 000</b>

(Lähteet: Valtakunnallinen rautatieliikenteen melun suuruusluokkaselvitys ja Pääkaupunkiseudun rautateiden meluntorjuntaohjelma vuosille 2001 - 2020, sekä liikennemeluselvytys Tampereen kantakaupungin alueella.) \*Pois lukien YTV, \*\* Oulun ja Lapin läänit

Taulukko Raideliikenteen melulle altistuvien määrät yöllä (klo 22 - 7).

	55 - 60 dB	60 - 65 dB	yli 65 dB	Yhteensä	Vaihteluväli
YTV-alue*	-	-	-	-	-
Etelä-Suomi**	8 329	1 431	283	10 043	9 000 - 11 000
Länsi-Suomi	12 787	3 299	917	17 003	15 500 - 19 000
Itä-Suomi	4 550	919	203	5 672	5 000 - 6 000
Pohjois-Suomi***	2 333	449	106	2 888	2 500 - 3 000
<b>Yhteensä</b> (ilman YTV:aa)	<b>27 999</b>	<b>6 098</b>	<b>1 509</b>	<b>35 606</b>	<b>31 500 - 39 000</b>

(Valtakunnallinen rautatieliikenteen melun suuruusluokkaselvitys ja Pääkaupunkiseudun rautateiden meluntorjuntaohjelma vuosille 2001 - 2020, sekä liikennemeluselvytys Tampereen kantakaupungin alueella.)

\* YTV:n alueelta ei yöliikenteen tietoja ole, \*\*pois lukien YTV, \*\*\* Oulun ja Lapin läänit. \*\*\*



Raidetieliikenteen meluntorjuntatoimenpiteitä on tähän mennessä toteutettu lähinnä suurissa ratahankkeissa. Erillisille meluntorjuntahankkeille ei teemarahoitusta ole vielä saatu, joten ne on toteutettu perusradanpitorahoituksella. Raideliikenteen meluntorjuntatoimenpiteitä on tähän saakka toteutettu lähinnä pääkaupunkiseudulla. Vuodesta 2007 painopistettä on siirretty pääkaupunkiseudun ulkopuolelle rautatiepaikkakunnille ja vilkkaille rataosuuksille.

## 1.2 Meluntorjunnan ohjearvot

Melu on keskeisimpiä elinympäristön laatua heikentäviä tekijöitä. Meluntorjunnan päämääränä on terveellinen, viihtyisä ja vähämeluinen ympäristö. Valtioneuvosto on määritellyt maankäytön ja rakentamisen suunnittelussa, eri liikennemuotoja koskevassa suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyssä käytettävät melutasojen ohjearvot (993/1992).

Taulukko 2. Melutasojen ohjearvot. Lähde: [www.ymparisto.fi/4/](http://www.ymparisto.fi/4/).

	<b>Melun A-painotettu keskiäänitaso (ekvivalenttitaso), <math>L_{Aeq}</math>, enintään</b>	
<b>Ulkona</b>	<b>Päivällä klo 7–22</b>	<b>Yöllä klo 22–7</b>
Asumiseen käytettävät alueet, virkistysalueet taajamissa ja niiden välittömässä läheisyydessä sekä hoito- tai oppilaitoksia palvelevat alueet	55 dB	<b>45–50 dB<sup>1) 2)</sup></b>
Loma-asumiseen käytettävät alueet, leirintä-alueet, virkistysalueet taajamien ulkopuolella ja luonnonsuojelualueet	45 dB	<b>40 dB<sup>3)</sup></b>
<b>Sisällä</b>		
Asuin-, potilas- ja majoitushuoneet	35 dB	<b>30 dB</b>
Opetus- ja kokoontumistilat	35 dB	-
<b>Liike- ja toimistohuoneet</b>	<b>45 dB</b>	-

1) Uusilla alueilla melutason yöohjearvo on 45 dB.

2) Oppilaitoksia palvelevilla alueilla ei sovelleta yöohjearvoa.

3) Yöohjearvoa ei sovelleta sellaisilla luonnonsuojelualueilla, joita ei yleisesti käytetä oleskeluun tai luonnon havainnointiin yöllä.

Jos melu on luonteeltaan iskumaista tai kapeakaistaista, mittaus- tai laskentatulokseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista ohjearvoon. Melutasoja verrataan ohjearvoihin melulähderyhmittäin.

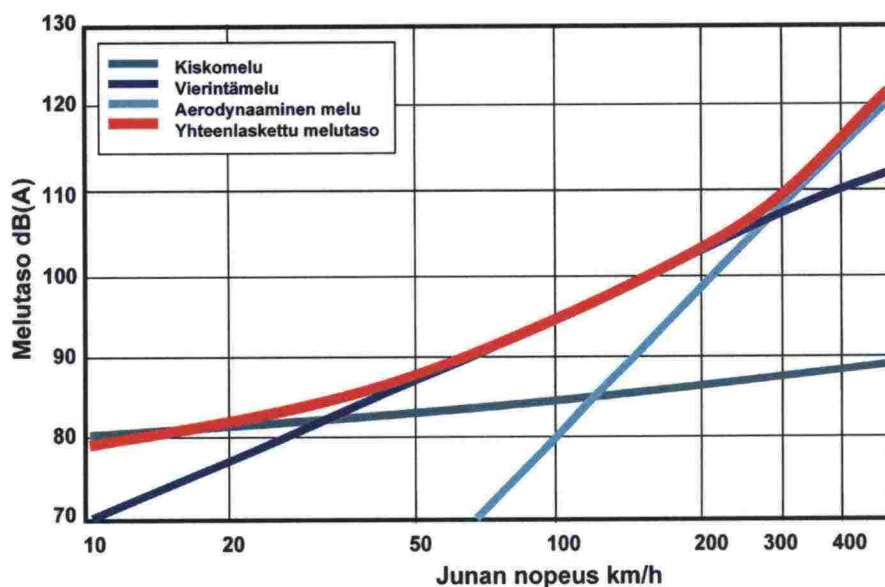
## 1.3 Raideliikenteen melun erityispiirteet

Raideliikenteestä johtuva melu syntyy pääosin pyörän ja kiskon kohtaamisesta. Meluun vaikuttavat lisäksi veturin ja vaunujen tyyppi, junan nopeus ja radan ominaisuudet. Tavaraliikenteestä syntyy lisäksi erilaista kolinaa, joka johtuu lähinnä vaunujen rakenteesta. Tieliikenteestä poiketen on junaliikenteessä yöaikainen melu määräävä, koska melua eniten aiheuttava tavaraliikenne kulkee pääosin yöaikaan.

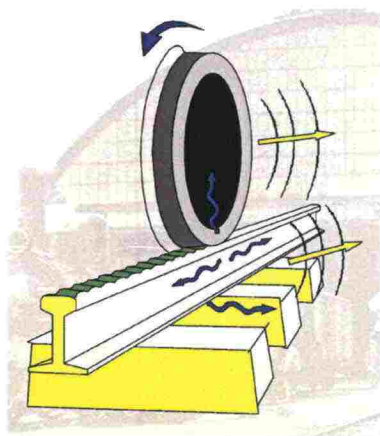


Junien nopeuksien kasvaessa yli 100 km/h muuttuu pyörän ja kiskon kosketuksesta syntyvän vierintämelun määrä vallitsevaksi. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että raideliikenteen melun torjuntaan riittää matalampi este kuin tieliikenteen melun torjuntaan. Kun nopeus kasvaa yli 200 km/h, aiheuttaa myös ilmanvastus melua. Raideliikenteen melun erityispiirteistä johtuen se vaimenee tieliikenteen melua nopeammin kauemmaksi melulähteestä mentäessä.

Vertikaalisesti, eli raiteen suuntaisesti johtuva värähtely on vallitsevaa. Mitä matalampi ääniaallon taajuus on, sitä pidemmälle se johtuu ja lisää syntyvän melun määrää.



Kuva 1. Nopeuden kasvun vaikutus raideliikenteen melulähteisiin; kiskomelu, vierintämelu, aerodynaaminen melu sekä näiden yhteenlaskettu melutaso. Alkuperäinen lähde: On Railway Noise Modelling - an Approach to the European Interim Method, Acoustics 08 Paris, J.L. Bento Coelho and D. Alarcão /22/.



Kuva 2. Värähtelyenergia, joka syntyy pyörän ja raiteen kohdatessa. Lähde: Railway Noise in Urban Areas: Possible Source Noise Reduction Measures, Brian Hemsworth/24/.

## 2 RAIDELIIKENTEEN MELUNTORJUNNAN VAIHTOEHDOT JA MAHDOLLISUUDET

### 2.1 Työn tavoitteet

Meluntorjunnan tarpeet lisääntyvät jatkuvasti raideliikenteen liikennemäärien kasvaessa. Melu koetaan yhä häiritsevämpänä ympäristöhaittana erityisesti vanhoilla asuinalueilla. Kestävän kehityksen mukainen kaupunki- ja taajamarakenteen tiivistäminen tarkoittaa käytännössä sitä, että myös radanvarsia otetaan yhä enenevässä määrin asuinkäyttöön. Meluhaitat lisääntyvät näin myös uusilla asuinalueilla.

Meluntorjunnan suunnittelussa ensisijaisena tavoitteena on vähentää syntyvän melun määrää. Jos tämä ei ole mahdollista tai riittävää, pyritään estämään melun leviämistä.

Meluntorjuntaan on kehitteillä erilaisia junakalustoon ja raiteisiin liittyviä teknisiä ratkaisuja. Tästä huolimatta melua joudutaan torjumaan myös meluntorjuntarakenteiden avulla. Meluesteinä on Suomessa käytetty pääosin meluaitoja, jotka ovat rakenteina kalliita. Meluntorjunnan kasvavien kustannusten vuoksi on siksi todettu tarvetta kehittää myös muita, meluaitoja kustannustehokkaampia meluntorjuntaratkaisuja. Esimerkkejä näistä ovat erilaiset matalat meluesteet.

Meluidan ja matalan meluesteen suurimmat eroavaisuudet liittyvät niiden sijoitukseen ratapoikkileikkauksessa, perustamis- ja rakentamiskustannuksiin sekä taajamakuvaliseen näkyvyyteen. Eri estetyyppien meluntorjuntaominaisuudet vaihtelevat rakenteellisen ratkaisun lisäksi esimerkiksi maanpinnan kaltevuuden ja maanpinnan sekä radan välisen korkeuseron mukaan.

Euroopan komissio on tehnyt päätöksen 2008/164/EY, joka koskee liikuntaesteisiä henkilöitä Euroopan laajuisessa tavanomaisessa ja suurten nopeuksien rautatiejärjestelmässä. Päätöksen keskeinen sisältö on, että junat, asemat ja infrastruktuuri palvelevat tasapuolisesti kaikkia käyttäjäryhmiä. Meluesteiden ja niihin liittyvien muiden rakenteiden tulee myös noudattaa näitä periaatteita. /12/

Tämän selvityksen tavoitteena on ollut tutkia matalan meluesteen teknistä toteutettavuutta ja meluntorjuntaominaisuuksien riittävyyttä ja hyväksyttävyyttä Suomen olosuhteissa. Tavoitteena on ollut myös selvittää, onko matala melueste meluaitaa helpommin toteutettavissa ja mitkä seikat vaikuttavat sen toteutuskustannuksiin. Lisäksi on ollut tavoitteena tutkia matalan meluesteen toimivuutta ja turvallisuutta eri käyttäjäryhmien kannalta, mm. radalla työskentelevien ja matkustajien näkökulmasta.

### 2.2 Meluhaittojen torjunta

#### 2.2.1 Maankäyttö

Maankäytön ohjaaminen on tehokas tapa vaikuttaa liikenteen melun aiheuttamaan häiriöön. Uusilla alueilla radan varteen voidaan sijoittaa toimintoja, joissa sallitun melutason vaatimukset eivät ole yhtä tiukat kuin asuinympäristössä. Asuinrakennukset on mahdollista toteuttaa rakenteellisesti ääntä eristävinä tai radan varteen voidaan sijoittaa esimerkiksi autotalli- tai varastorakennuksia. Ongelmallisimpia ovat vanhat asuinalueet, joissa asuinrakennukset sijaitsevat hyvin lähellä rataa ja rakenteiden ääneneristävyys on heikko. Vanhoilla alueilla myös täydennysrakentamisesta saavutettava hyöty jää usein vähäiseksi.

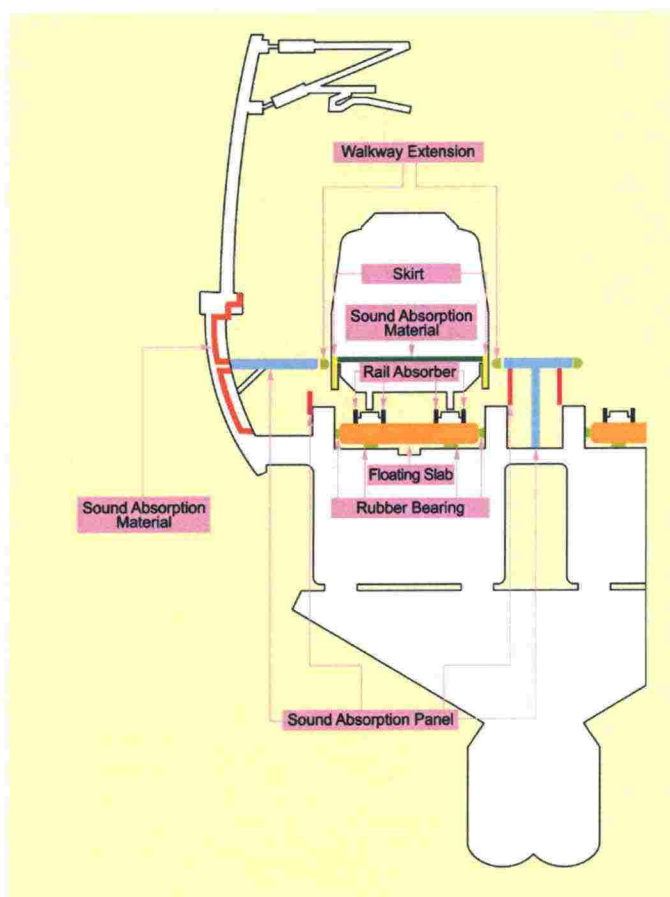
### 2.2.2 Junakaluston ja raiteiden tekninen kehittäminen

Melua voidaan torjua erilaisilla junakalustoon ja raiteisiin liittyvillä teknisillä ratkaisuilla. Näihin liittyvä kehitystyö ja käytännön toteutus sekä kaluston uusiminen on osoittautunut hitaaksi ja kustannuksiltaan kalliiksi. Tästä syystä myös perinteisiä meluntorjuntarakenteita tarvitaan lisääntyvässä määrin.

Raideliikenteen melu syntyy pääosin pyörän ja kiskon kohtaamisesta. Kun sekä raide että pyörä ovat pinnaltaan mahdollisimman tasaiset, vaimenee myös melu. Melun määrään vaikuttavat myös pyörien muoto ja koko, eristys ja suojaus. Melua voidaan vaimentaa esimerkiksi koteloimalla pyörät ja vaunun alaosa niin, että melu ei pääse leviämään vapaasti. Kiskojen kunnossapitohionnan avulla parannetaan kiskon tasaisuutta ja vähennetään osaltaan pyörän ja kiskon kohtaamisesta syntyvää melua.

Jarrutuksesta syntyvää melua voidaan vähentää esimerkiksi korvaamalla valurautajarrut komposiittirakenteisilla jarruilla.

Raiteista syntyvän melun määrään voidaan vaikuttaa erilaisilla vaimentimilla, eristämateriaalin sopivalla jäykkyydellä sekä raiteen muotoilulla.



Kuva 3. Esimerkkipoikkileikkaus erilaisten teknisten meluntorjuntaratkaisujen yhdistelmästä junavaunussa, raiteiden kohdalla sekä radan ulkopuolisissa rakenteissa, Ma On Shan- radan maasilta, Hong Kong. Lähde: <http://www.epd.gov.hk>.



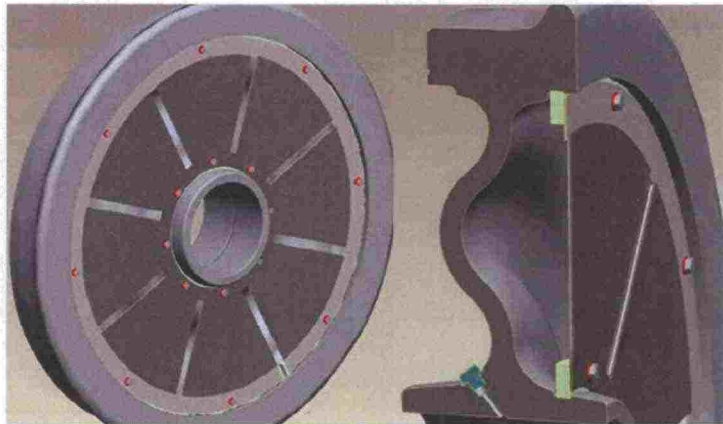
Kuva 4. Pyörien koteloinnilla voidaan vaimentaa melua. Lähde: Impelented Solutions in Europe for Railway Noise Reduction at the source, Pisa 2006, Brian Hemsworth /24/.



Kuva 5. Kiskonvaimentimet. Lähde: Reducing Railway Noise in Urban Areas, SILENCE seminar, Paris 2008, Track Absorbers/Benton, Asmussen, Jones/26/.



Kuva 6. Pyöränvaimentimet. Lähde: Reducing Railway Noise in Urban Areas, SILENCE seminar, Paris 2008, Track Absorbers/Benton, Asmussen, Jones /26/.



Kuva 7. Melua absorboiva betonirakenne raiteiden välissä. Lähde: <http://www.wohnbeton.at>, Saksa.





## 2.3 Rakenteelliset meluntorjuntatoimenpiteet

### 2.3.1 Meluaita

Melua joudutaan melutasojen ohjearvojen saavuttamiseksi tai meluhaittojen lieventämiseksi torjumaan rakenteellisin estein. Yleisimmin käytetty meluntorjuntarakenne on meluaita.

Meluaita sijoitetaan ATUn ulkopuolelle, kuitenkin mahdollisimman lähelle melulähdettä. Aidan minimietäisyys keskilinjasta on >3600 mm. Meluaidan yleisimmät materiaalit ovat betoni, teräs- tai alumiinikasetit, erilaiset läpinäkyvät materiaalit ja puu sekä vaneri. Meluesterakenteilta vaaditaan säänkeston lisäksi absorboivuutta eli niiden tulee olla melua imeviä. Tämä ei koske läpinäkyviä rakenneosia. Myös äänen taittuminen eli diffraktio on tapauskohtaisesti otettava huomioon. Ilkivaltaan pyritään varautumaan rakenteellisten ratkaisujen sekä esteiden pintakäsittelyn avulla. Meluesteiden yleiset ominaisuudet ja tuotevaatimukset on määritelty tarkemmin RHK:n julkaisussa B 11, Rautateiden meluesteet /13/.

Ohessa on kuvaesimerkkejä erilaisista meluaitaratkaisuista Suomessa ja ulkomailla.

#### Teräs, alumiini

Teräksestä ja alumiinista valmistetuissa meluesteissä on käytetty pääosin kasetteja, jotka asennetaan pilareiden väliin. Kasetit ovat rakenteeltaan absorboivia. Ilkivaltaa voidaan torjua esimerkiksi asentamalla seinän ulkopintaan verkkorakenne, joka vaikeuttaa seinän töhertämistä.

Kaarevalla muodolla voidaan vaikuttaa äänen heijastumisen suuntaan.

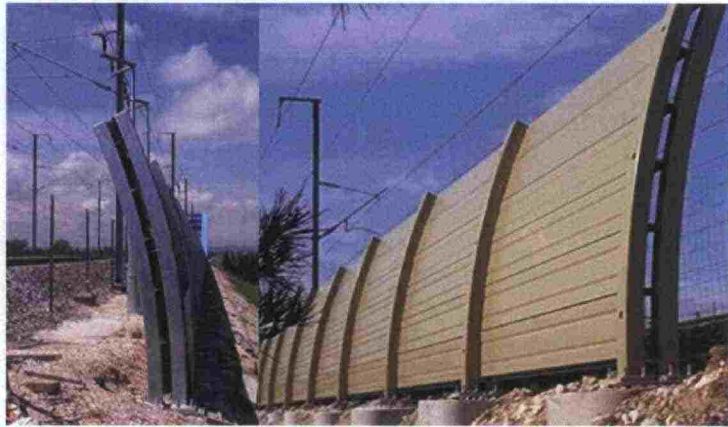


Kuva 8. Ruukki meluestekasetti, Suomi. Lähde: [www.ruukki.com](http://www.ruukki.com).



Kuva 9. Van Campen alumiiniaita ja hätäpoistumistie, Rozenburg-Rielle rautatie, Hollanti. Lähde: <http://www.campen.nl>.

Kuva 10. Radan suuntaan  
kaartuva teräselementtiaita.  
Lähde: <http://www.agcm-biegen.com>, Saksa.



Kuva 11. RockDelta® Green.  
Lähde: <http://www.gnf.eu>.



Kuva 12. Teräksen ja  
läpinäkyvän elementin  
yhdistelmä. Lähde: [www.kohlhauer.com](http://www.kohlhauer.com).



Kuva 13. Alumiinista ja  
akryylistä valmistettu  
aita, Ludwigshafen Saksa.  
Lähde: <http://www.slg-online.com>.

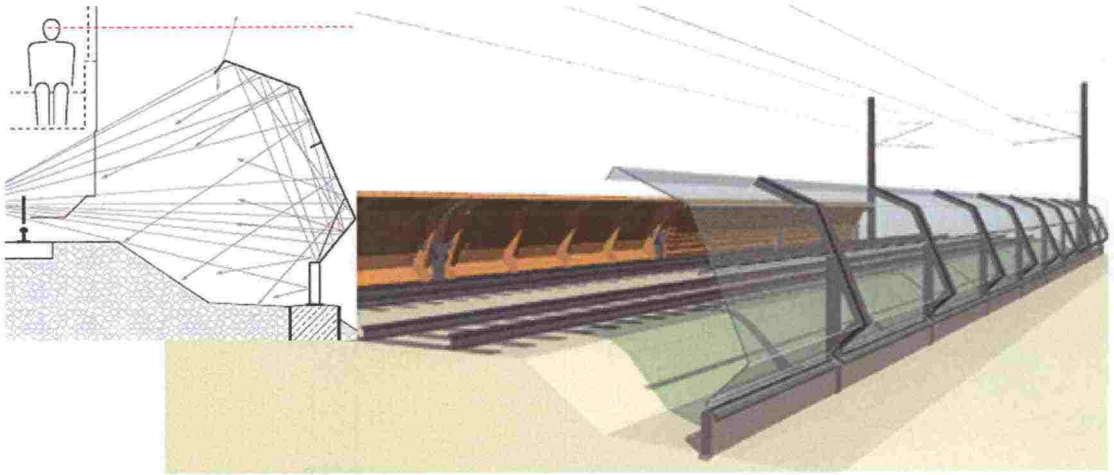




### Läpinäkyvät materiaalit

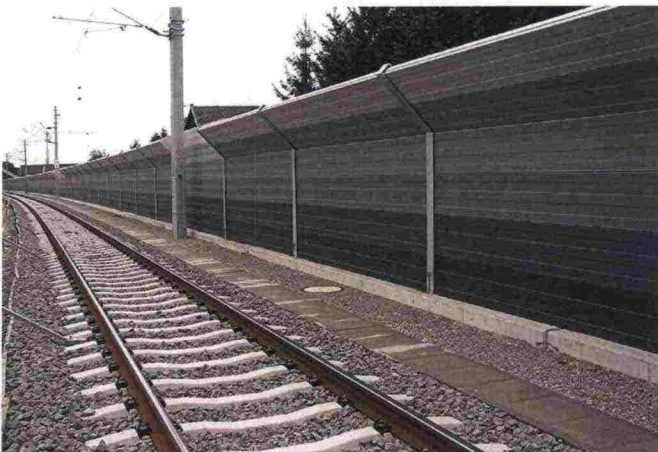
Läpinäkyviä elementtejä käytetään pääosin betoni- tai teräsrakenteisten aitojen yläosassa keventämään aidan massiivisuutta ja säilyttämään näkymiä avoimena.

Erilaisten läpinäkyvien materiaalien ominaisuudet vaihtelevat. Akryyli kestää hyvin ultraviolettisäteilyä ja ilkivaltaa, on edullinen ja helposti työstettävissä. Sen pinta kuitenkin naarmuuntuu suhteellisen helposti ja pinta himmenee ajan myötä. Myös graffitien poisto on ongelmallista. Polykarbonaatit kestävät ultraviolettisäteilyä ja pysyvät yleensä kirkkaina. Ne ovat työstettävissä työmaalla, eivätkä naarmuunnu helposti ja graffitien poisto onnistuu kohtalaisesti. Ne ovat kuitenkin hinnaltaan akryyliä kalliimpia. Laminoitu ja karkaistu lasi kestää hyvin ultraviolettisäteilyä ja pysyy kirkkaana. Se kestää vain kohtalaisesti ilkivaltaa, muttei naarmuunnu helposti ja graffitien poisto onnistuu melko hyvin. Lasi on kuitenkin työstettävä ennen karkaisua. Lasi on akryyliä ja polykarbonaatteja edullisempaa.



*Kuva 14. Elementin muotoilulla on pyritty hallitsemaan melun heijastumista.*

*Lähde: <http://www.proholz.at>, Saksa.*



*Kuva 15. Y-muotoinen läpinäkyvä este, Japani.*

*Lähde: <http://www.rtri.or.jp>.*

*Kuva 16. Yläosastaan taivutettu teräsrakenteinen meluaita, Saksa. Lähde: [www.forster.at](http://www.forster.at).*

### Betonielementti ja puu

Betoni on materiaalina kestävä, mutta rakenteena esimerkiksi teräs- ja alumiinikasetteja raskaampaa. Betonirakenteita voidaan urittaa, kuvioida, maalata ja toteuttaa väribetonista. Niitä voidaan myös yhdistellä läpinäkyvien yläosien ja puuosien kanssa. Betoni on materiaali, josta on mahdollisuus muotoilla esteettisesti korkeatasoinen ympäristörakenne ja sovittaa se muihin rataympäristön rakenteisiin ja päällysteisiin.

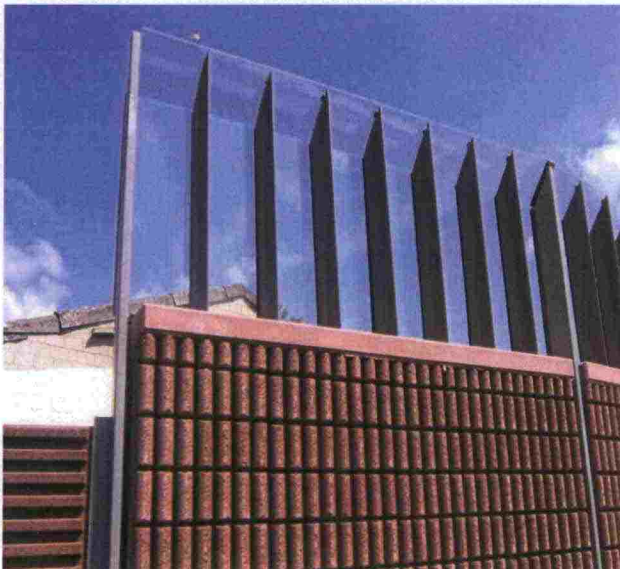
*Kuva 17. Uritettu ja kallistettu  
betonielementtiäita, Saksa.  
Lähde: <http://www.wohnbeton.at>.*



*Kuva 18. Betonielementtiäita,  
Saksa. Lähde: <http://www.laerm-schutz-wand.de>.*



*Kuva 19. Betonielementtiäitaa on  
kevennetty läpinäkyvällä yläosalla  
Lähde: <http://www.laerm-schutz-wand.de>.*





Puu soveltuu myös aitarakenteeksi radan varteen, kun rakenteessa huomioidaan aitaan kohdistuvat kuormat. Puisen meluaidan sokkeliossa kannattaa toteuttaa riittävän korkealle betonista tai teräksestä, mikä parantaa huomattavasti aidan käyttöikää (kestävyyttä.)

### Kivikori

Kivikorien käyttö ympäristö- ja maisemarakentamisessa on yleistynyt ja korirakenteiden valmistajia on markkinoilla useita. Kivikorit soveltuvat myös melusteiksi, mutta ne ovat rakenteena massiivisia ja korkeuden kasvaessa tilaa vieviä. Kivikorien täyttö tulee tehdä huolella, jotta niiden seinät pysyvät suorina.



*Kuva 20. Betonin, puun ja läpinäkyvän elementin yhdistelmä, Saksa.  
Lähde: <http://www.holzbau-allenbach.ch>.*



*Kuva 21. Betoni ja läpinäkyvä elementti, Saksa. Lähde: [www.kohlhauer.com](http://www.kohlhauer.com).*



*Kuva 22. Puurakenteiset esteet, Mjölbyn asema ja Litto Skövde, Ruotsi.  
Lähde: <http://www.terra-wing.se/index.htm>.*

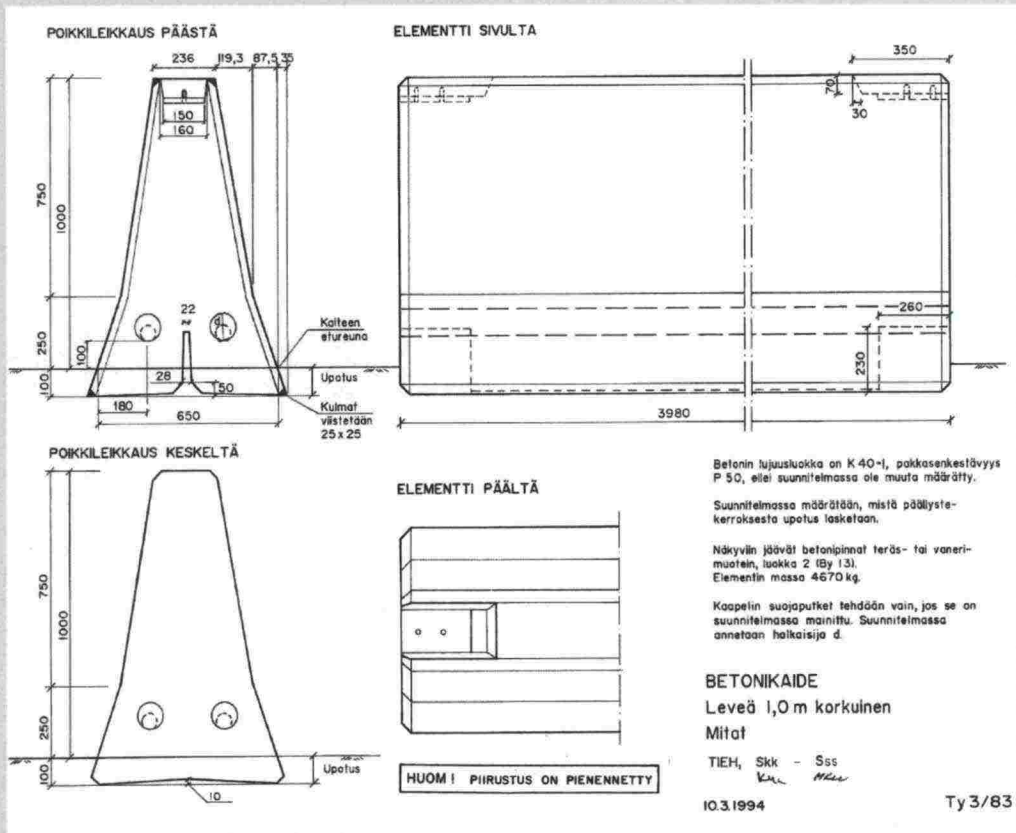


*Kuva 23. Kivikoriaita, Köln-Rhein/ Main, Saksa. Lähde: <http://www.ferrondo.de/ice-strecke.htm>.*

### 2.3.2 Matalat meluesteet

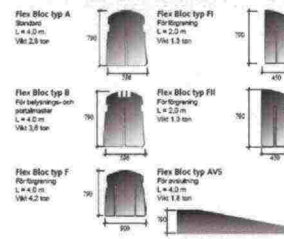
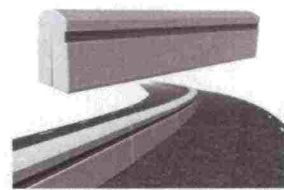
Melukaide on matala melueste, joka sijoitetaan lähemmäksi melunlähdettä kuin meluaita. Kaiteita käytetään yleisesti meluntorjuntaan tie- ja katuverkolla. Kaiteen käyttöä rajoittavat erilaiset turvallisuuteen, kunnossapitoon ja teknisiin laitteisiin liittyvät tekijät.

Ohessa on esimerkki Tiehallinnon betonisesta 1 m korkeasta tyypikaiteesta sekä vastaava tyypikaide Ruotsista.



Kuva 24. Tiehallinnon betonikaide, korkeus 1,0 m. Lähde: Tiehallinto /9/.

#### Flex Bloc



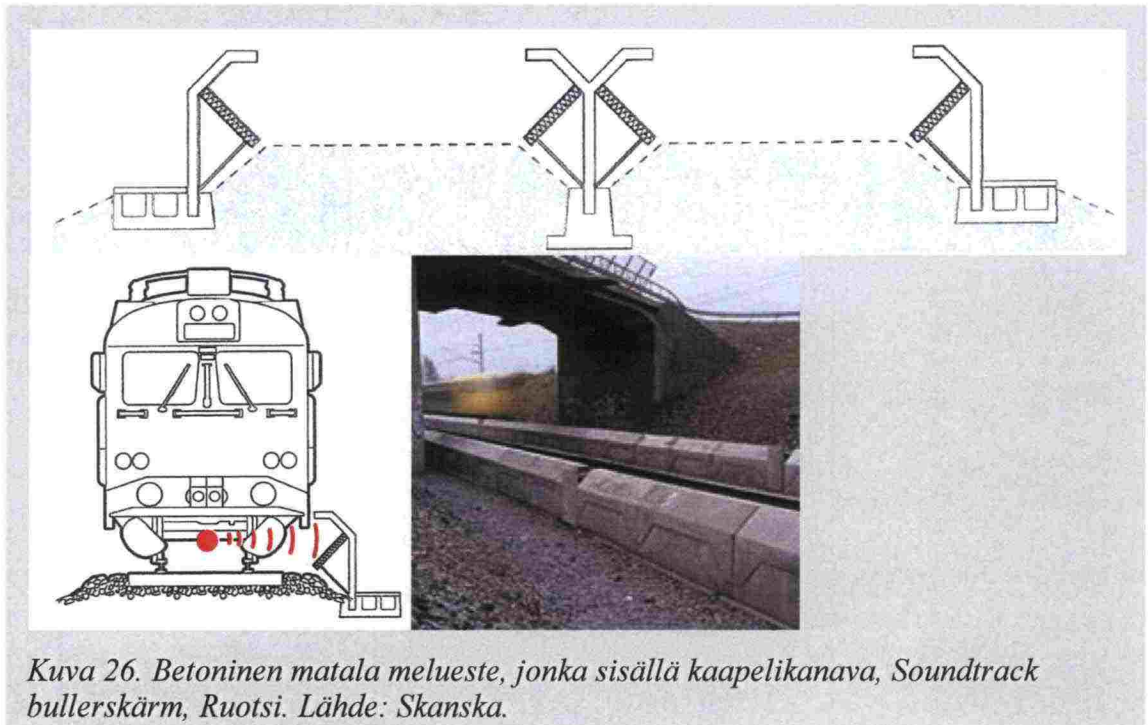
Kuva 25. Ruotsissa käytössä oleva betoninen tyypimelukaide. Lähde: Abetong.

**ABETONG**  
HEIDELBERGCEMENT Group



Ratamelun torjunnassa on käytetty erilaisia melukaideratkaisuja, jotka on valmistettu mm. betonista tai puusta. Kaide on sijoitettu mahdollisimman lähelle raidetta. Melukaide torjuu lähinnä pyörien ja kiskon kohtaamisesta syntyvää melua.

Seuraavassa on kuvaesimerkkejä melukaiteista ja niihin verrattavista matalista raiteen viereen sijoitettavista meluntorjuntarakenteista.







Kuva 29. Puurakenteinen, matala melukaide, Ruotsi. Kaide on rakenteeltaan hyvin kevyt, joten sen kestävyys esim. aurasuormien suhteen arveluttaa.  
Lähde: <http://www.ecoprofile.se>.

Kuva 30. Rakenteeltaan kevyt betoninen melukaide, Saksa. Lähde: <http://www.bg-bahnen.de>.



Kuva 31. Matala kivi- ja korimelukaide. Lähde: Expert Noise and Vibration, Malmö 2/ 2009, Current Noise Issues, Deutsche Bahn. Vastaava ratkaisu soveltuu myös tiemelun torjuntaan /21/.





Ruotsalainen valmistaja, Z-bloc NORDEN AB, on kehittänyt matalaa melukaidetyyppiä raideliikenteen meluntorjuntaan yhteistyössä Banverketin kanssa.

Z-bloc-kaide on korkeudeltaan 730 mm kiskon selästä ja se on sijoitettu 1700 mm etäisyydelle raiteen keskilinjasta. Raideleveys on Ruotsissa 1435 mm. Esteen korkeuden suunnittelun yhtenä lähtökohtana on ollut asemien laiturikorkeus. Este-elementin paino on n. 2200–3300 kg kaidemallista riippuen ja elementin pituus on 3,5 m.

Z-bloc-kaiteen lähtökohtana on ollut mahdollisimman yksinkertainen perustettavuus ja kaiteen siirrettävyys esim. huolto- ja rakennustöiden alta. Kaiteen meluntorjuntaominaisuuksia on parannettu esteen pintaan asennetulla absorboivalla kumirouheella. Valmistajan teettämien melulaskentojen ja mittausten mukaan esteen melunvaimennuskyky on ollut junatyyppistä ja maasto-olosuhteista riippuen parhaimmillaan luokkaa 7...9 dBA. Este-elementtien väliin on suunniteltu tarvittaessa sijoitettavaksi huolto- ja hätäpoistumisportteja, joilla ei ole todettu olevan suurta merkitystä meluntorjuntaominaisuuksien kannalta.

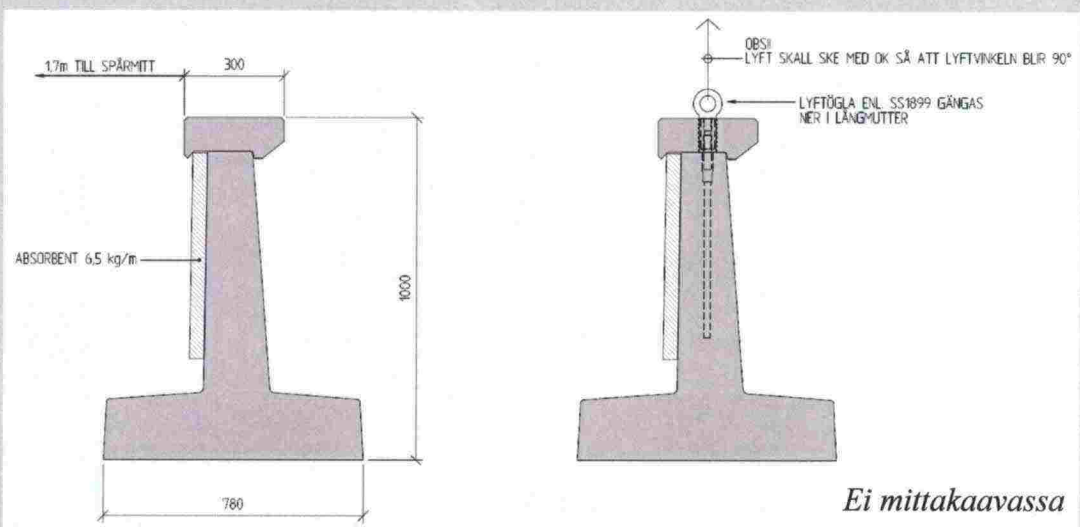
Koerakennuskohteita on toteutettu useille rataosuuksille eripuolilla Ruotsia. Uusimmat kohteet sijoittuvat mm. Uumajaan (Hemvägen–Omeå östra, Umeå, 2730 m/ Banverket), Södertäljeen (Mölnbo, 87,5 m/ Banverket Investeringsdivision) ja Tukholmaan (Bro, 63 m, /Q city Banverket).



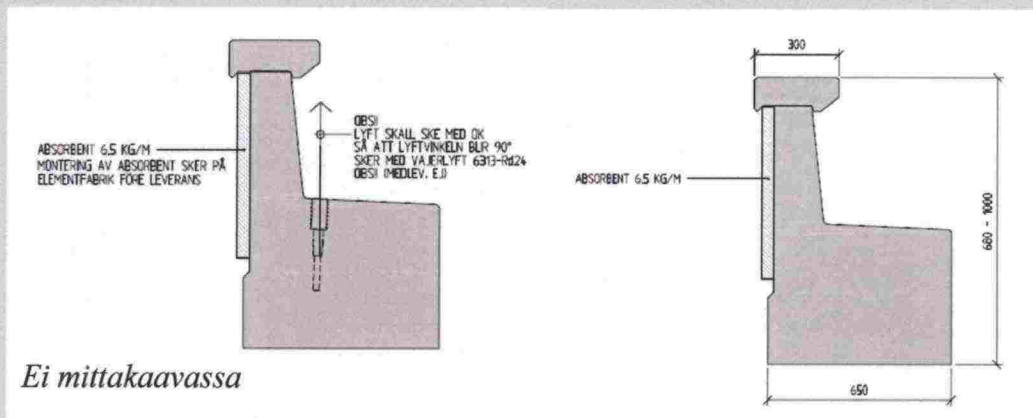
*Kuva 32. Z-bloc matala melueste testiraideosuudella Kungsängen–Bro. Lähde: Quiet City Transport, In-field measurements of the influence of low barrier on railway noise 2008, Jens Nielsen, Oskar Lundberg, Nicola Renard /23/.*



Kuva 33. Kuva toteutetusta meluntorjuntakohteesta, Skogås Ruotsi 2007. Lähde: Z-bloc NORDEN AB.



Kuva 34. Poikkileikkauskuvia Z-bloc-melukaiteesta. Kaiteen yksi idea on ollut sen siirrettävyys tarvittaessa esimerkiksi huolto- tai rakennustöiden alta. Lähde: Z-Bloc NORDEN AB.



Kuva 35. Uusin kehitetty kaidetyyppi, jossa jalka on muotoiltu niin, että se ei sijaitse radan puolella. Lähde: Z-bloc NORDEN AB.



### 2.3.3 Matalat kiskon viereen asennettavat meluntorjuntarakenteet

Melukaiteen lisäksi on käytetty muita raiteen viereen asennettavia matalia esteitä, joilla pyritään torjumaan melun leviämistä mahdollisimman lähellä melulähdettä. Rakenteen tulee olla mahdollisimman hyvin ääntä imevä. Suomen olosuhteissa on todennäköistä, että kuvan 36 kaltaisten elementtien reiät tukkeutuvat lumesta, mikä heikentää esteen toimivuutta.

Yhteenvedona tutkituista matalista meluesteistä todettiin, että useimmat niistä eivät sellaisenaan sovellu käytettäväksi Suomen olosuhteissa mitoituksensa ja rakenteellisen kestäväytensä suhteen. Turvallisuusmääräykset, suunnitteluohjeet sekä ilmasto ja sääolot ja näistä johtuva kunnossapito asettavat esteelle omat rajoituksensa. Lähtökohtana päädyttiin hyödyntämään Ruotsissa tehtyä Z-bloc-kaidetyypin kehitystyötä ja soveltamaan sitä Suomen olosuhteisiin.



Kuva 36. Matala, raiteen viereen asennettava este. Lähde: *Implemented Solutions in Europe for Railway Noise Reduction at the Source*, Pisa 2006, Brian Hemsworth /22/.



Kuva 37. Raiteiden molemmin puolin asennetut matalat meluesteet, Hong Kong. Lähde: <http://www.epd.gov.hk>.

### 3 MELUNTORJUNNAN TEKNISET LÄHTÖKOHDAT

#### 3.1 Ratatekniikan asettamat suunnitteluperusteet

##### 3.1.1 Tekniset lähtökohdat

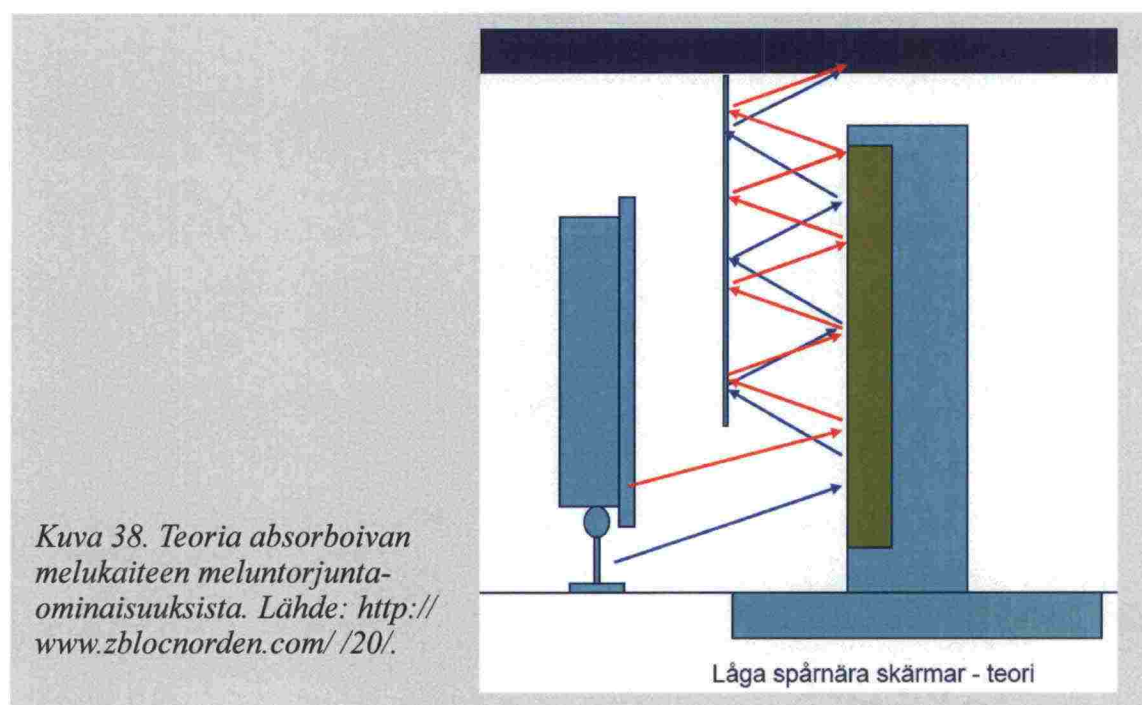
Lähtökohtana tälle selvitykselle ovat olleet mm. Ruotsissa käytössä olleet melukaidetyypit, erityisesti Z-bloc-tuotemerkki, jota kaiteen valmistaja on kehittänyt yhteistyössä Banverketin kanssa. Melukaiteesta on tämän työn aikana tullut markkinoille ns. 3. sukupolven tuote. Kaiteen melunvaimennus perustuu mm. kaiteen ja junan väliin jäävään kanaalimaisen tilaan, jossa ääni vähitellen vaimenee sekä kaiteen absorboivaan pintarakenteeseen. Tässä työssä on hyödynnetty tuotteen kehitystyötä ja käytännön kokemuksia toteutetuista kohteista mm. Ruotsissa ja Norjassa.

Selvityksessä on keskitytty tutkimaan, miten vastaavatyypinen melueste soveltuu Suomen olosuhteisiin teknisten ominaisuuksiensa, mitoituksensa, meluntorjuntaominaisuuksiensa ja turvallisuuden kannalta.

Työn kuluessa on tullut esille useita teknisiä kysymyksiä, jotka ovat vaatineet lisäselvityksiä. VR Osakeyhtiön ja Oy VR-Rata Ab:n asiantuntijoiden kanssa pidetyt työpalaverit ovat tuoneet runsaasti käytännön tietoa esim. kunnossapitoon, kalustoon, turvallisuuteen ja erikoiskuljetusten vaatimuksiin liittyvistä seikoista. Lisäksi on haastateltu RHK:n asiantuntijoita mm. maadoitukseen ja turvallisuuteen liittyvissä kysymyksissä.

Lähtökohtana meluesteen tekniselle mitoitukselle ovat radan suunnitteluun liittyvät ohjeet, jotka määrittelevät erilaisten laitteiden ja rakenteiden sijainnin, näkyvyyden ja turvaetäisyydet. Selvitystyössä on arvioitu, onko niistä joiltain osin mahdollista poiketa tai voidaanko niitä soveltaa.

Seuraavissa kappaleissa käsitellään selvitystyön kulkua eri osa-alueiden näkökulmasta ja vaikutusta matalan meluesteen kokomittoihin ja sijoittumiseen ratapoikkileikkaukseen.





Ratahallintokeskuksen ohjeet, joiden mukaan selvitystä on tehty ovat mm.

- Ratatekniset ohjeet (RATO) osat 2 Radan geometria, 3 Radan rakenne, 5 Sähköistetty rata, 6 Turvalaitteet, 8 Sillat, 11 Radan päällysrakenne ja 17 Radan merkit
- Rautateiden meluesteet, RHK:n julkaisu B 11
- Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitus suunnittelu, RHK:n julkaisu B 23
- Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO), RHK:n julkaisu B 24

### 3.1.2 ATU

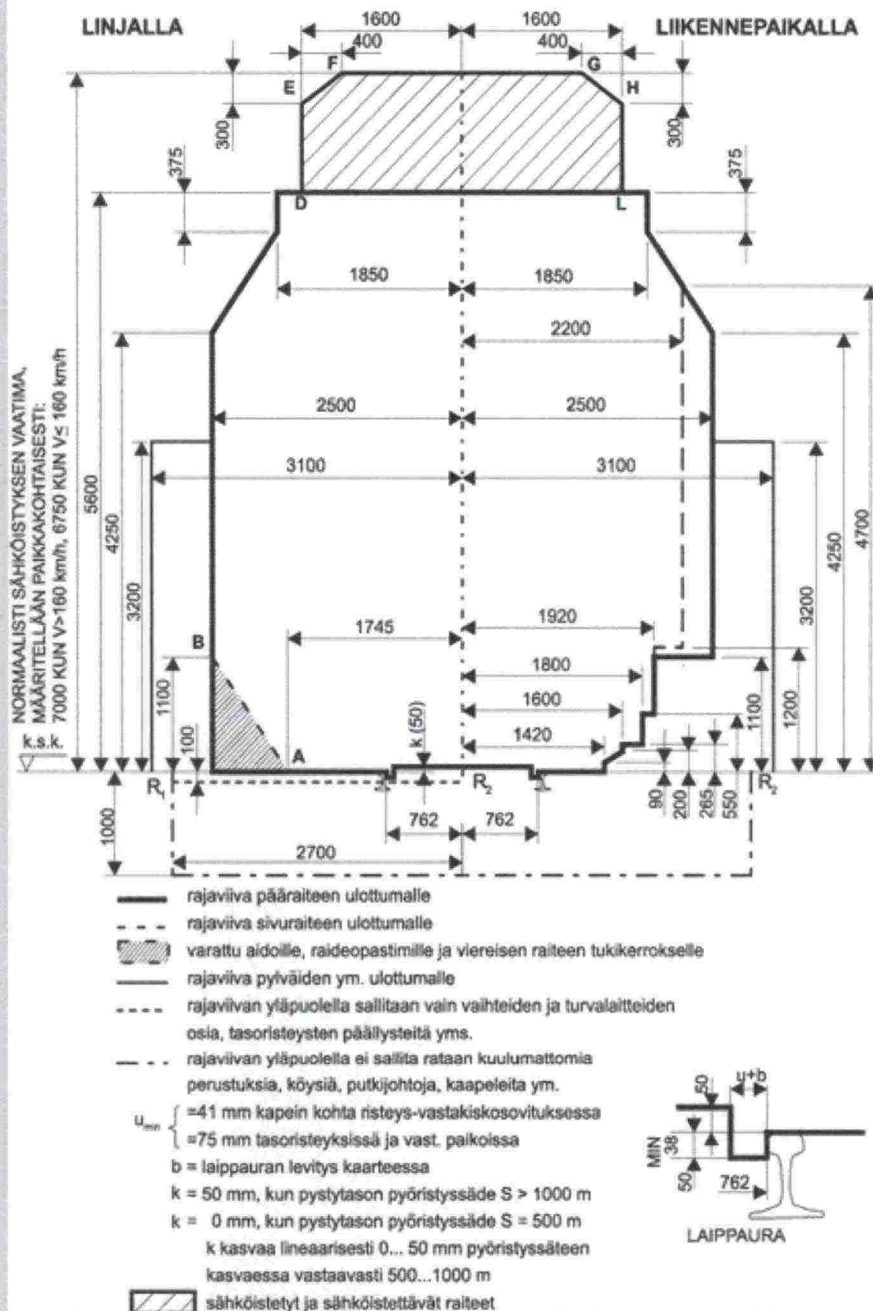
Aukean tilan ulottuma (ATU) on pitkin raidetta ulottuva tila, jonka sisäpuolella ei saa olla kiinteitä rakenteita eikä laitteita. ATUn puolileveyden perusmittoja suurennetaan kaarteissa ja kallistuksessa RATO:n osassa 2 esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

ATU määrittelee peruslähtökohdan rataan liittyvien rakenteiden ja meluesteen sijoittelulle, joten myös tässä selvityksessä tutkitut vaihtoehdot ovat ATUn mukaisia.

Meluaitojen suunnittelua ohjaa RHK:n julkaisu B 11 Rautateiden meluesteet. Normaalisti meluaita sijoitetaan radan keskilinjasta etäisyydelle  $\geq 3600$  mm.



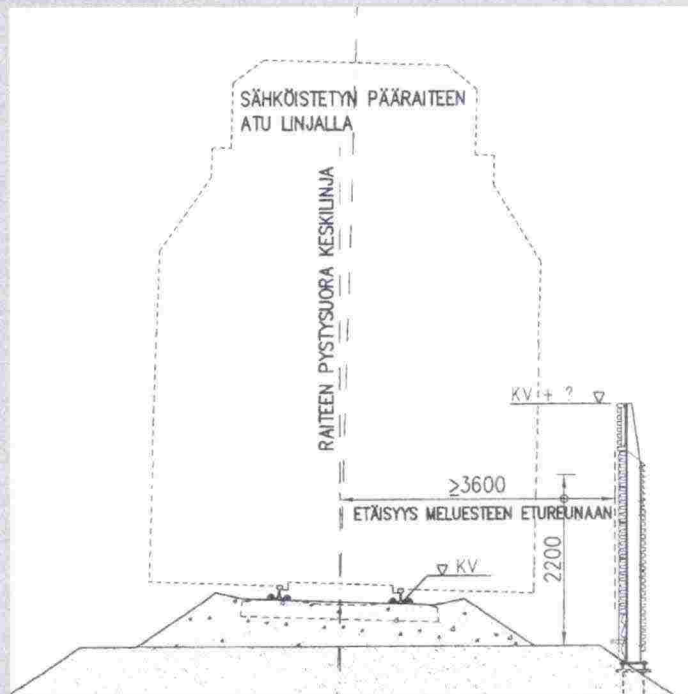
# AUKEAN TILAN ULOTTUMAN MITAT SUORASSA RAITEESSA



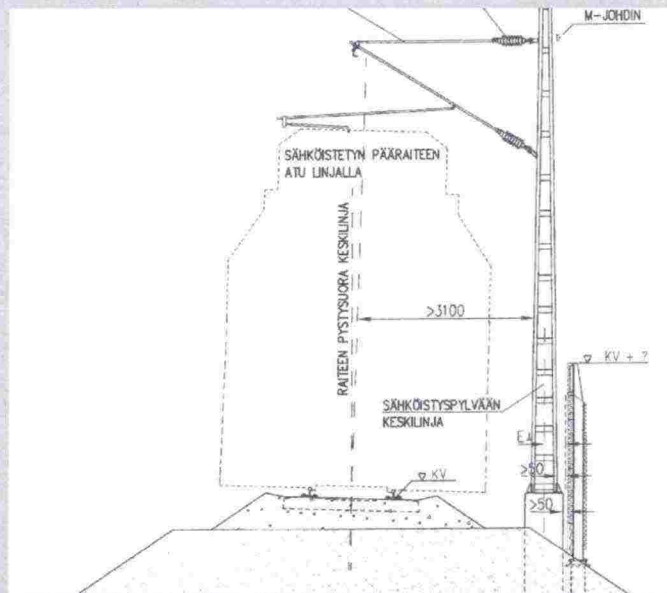
Kuva 39. ATUn päämitat /12/.

Lähtökohtana matalan esteen sijoittamisessa ratapoikkileikkaukseen oli esteen sijoittaminen mahdollisimman lähelle raidetta. Kuvasta 42 nähdään, että kaiteen etäisyys radan keskilinjasta suoralla radalla tulee olla 1920 mm ja maksimissaan esteen korkeus voi olla ATUn alareunan mukaisesti 1100 mm kiskon pinnasta. Kun raiteessa on kaarre ja kallistus, muuttuvat ATUn puolileveyden mitat. Tämän vaikutusta esteen sijoitukselle käsitellään lisää seuraavassa luvussa.

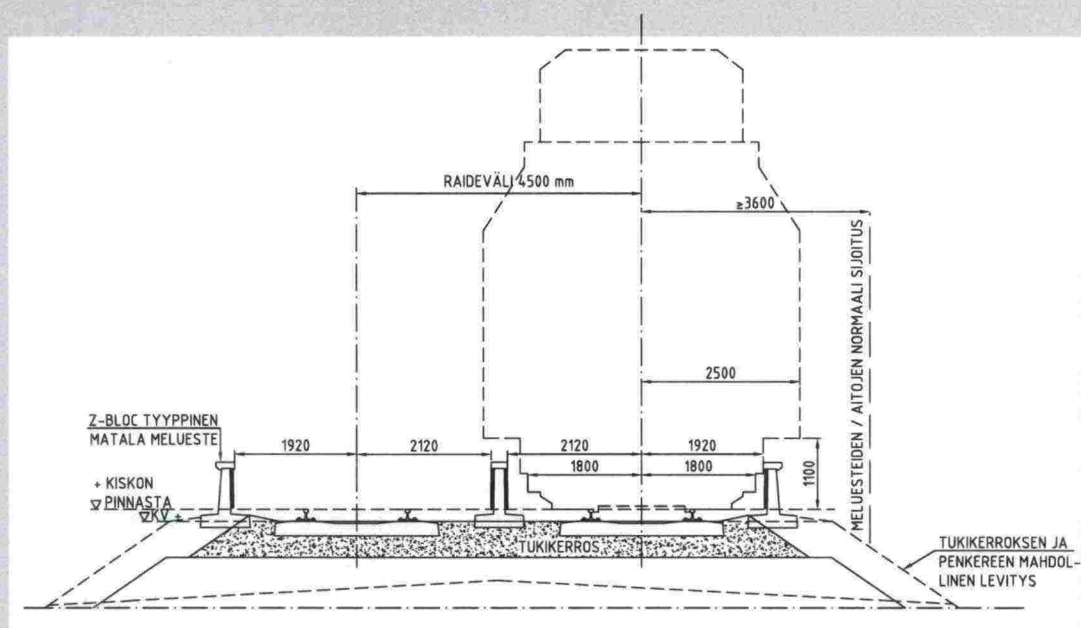
Kun raideväli muuttuu pienemmäksi, ATUjen väliin jäävä tila pienenee raiteiden välissä. Esteen sijoitusta raiteiden väliin tutkittiin ja este on mahdollista sijoittaa ATUn vaatimusten mukaisesti raiteiden väliin, kun raideväli on  $\geq 4100 \text{ mm}$ .



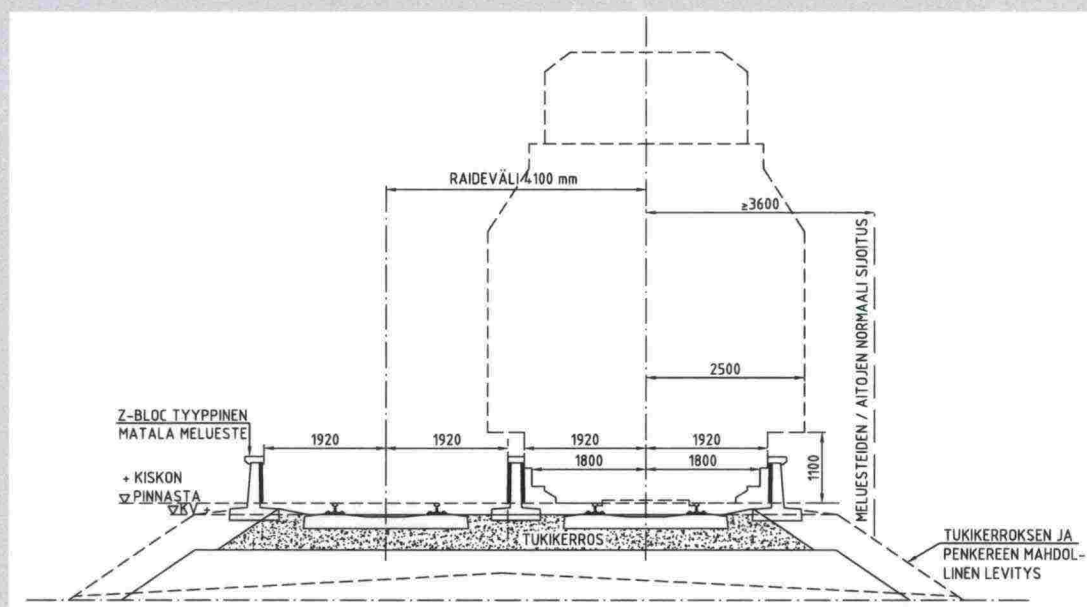
Kuva 40. Meluaidan sijoittaminen ratapoikkileikkaukseen. Lähde: Rautateiden meluesteet s. 26 /13/.



Kuva 41. Meluaidan sijoittaminen ratapoikkileikkaukseen ratajohtopylväiden kohdalla. Lähde: Rautateiden meluesteet s.27 /13/.



Kuva 42. Melukaiteiden sijoittaminen ratapoikkileikkaukseen, kaksiraiteinen rata, raideväli 4500 mm (ei mittakaavassa).



Kuva 43. Melukaiteiden sijoittelu ratapoikkileikkaukseen, kaksiraiteinen rata, raideväli 4100 mm (ei mittakaavassa).



### 3.1.3 Kaarteet ja kallistukset

Kaarteet ja kallistukset on huomioitava meluesteen sijainnin suunnittelussa. Kaarteessa kaluston oikaisu ja kallistuksessa kaluston kallistuminen aiheuttavat aukean tilan ulottuman etäisyysmittojen muutoksen suoralla radalla olevaan ATUun verrattuna, ks. kuva 45. Kaarteessa ja kallistuksessa este on siis sijoitettava kauemmaksi raiteesta kuin suoralla osuudella.

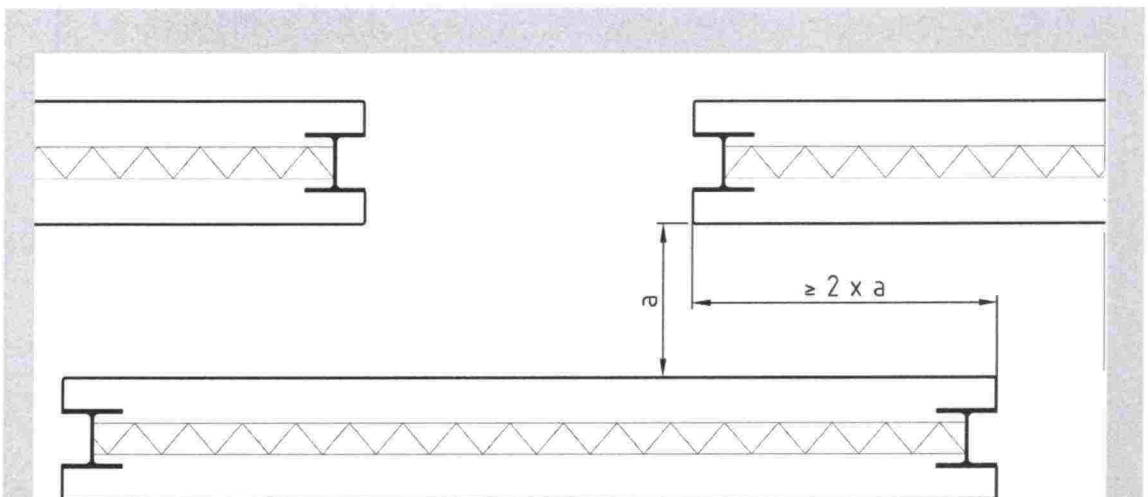
Käytännössä tämä vaikuttaa esteen meluntorjuntaominaisuuksiin heikentämällä niitä jonkin verran. Tapauskohtaisesti voidaan kaarteessa harkita matalan meluesteen sijaan esimerkiksi meluidan rakentamista. Tällöin matala melueste ja meluaita on limitettävä Rautateiden meluesteet -julkaisun kuvassa 17 esitettyjen vaatimusten mukaisesti, limitys on esitetty kuvassa 44. /13/.

Kaarre käsittää vaaka- ja pystytasossa olevan normaalikaaren sekä siirtymäkaaret. Kaarteen säde määritetään raiteen keskilinjan mukaan. Raiteen kallistus määritetään raiteen sisä- ja ulkokiskon välisenä korkeuserona. Raiteen kallistus tehdään ulkokiskoa korottamalla. Kaarteen ja kallistuksen vaikutus ATUn puolileveyden mittojen muutokseen lasketaan RATO:n osan 2 Radan geometria liitteessä 3 olevilla kaavoilla /12/.

Selvitystyössä päätettiin valita kaksi eri kaarre- ja kallistusyhdistelmää, joilla tutkittiin ATUn puolileveyden kasvamisen vaikutuksia matalan esteen sijoitukseen. Lähtöoletuksena oli, että estettä tullaan käyttämään liikennepaikkojen ulkopuolella, jolloin minimikaarresäde on käytännössä 300 m ja maksimikallistus on 150 mm. Näiden perusteella tutkimuksen lähtökohdiksi valittiin seuraavat arvot:

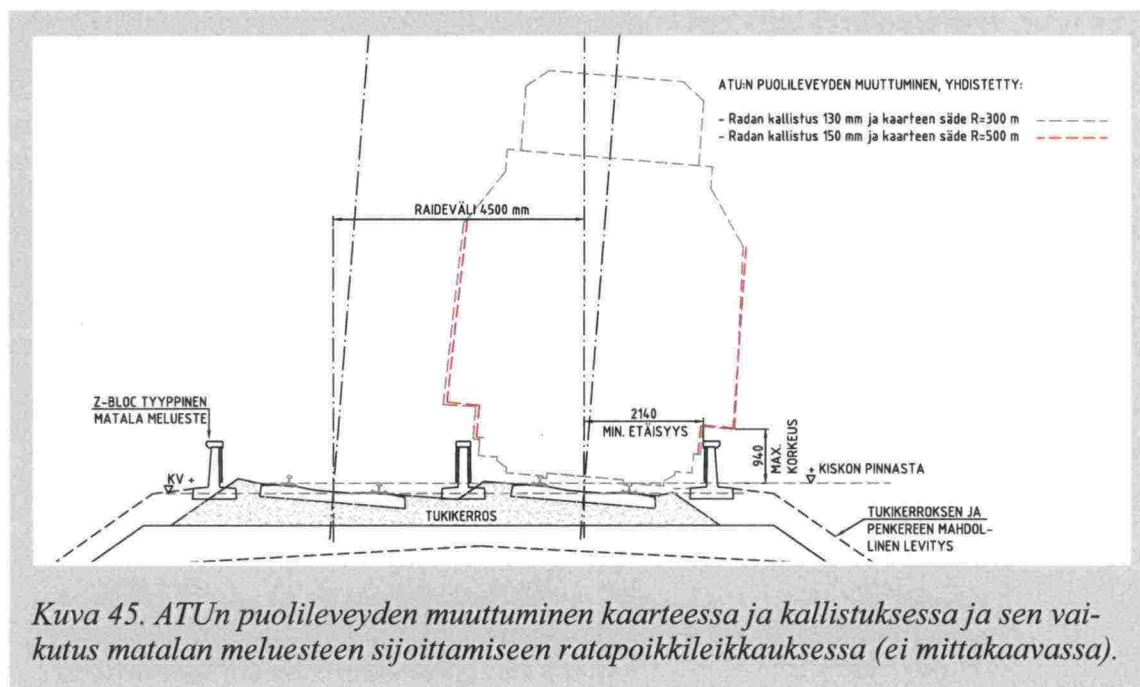
- kallistus  $h=130$  mm, kaarre  $R=300$  m sekä
- kallistus  $h=150$  mm, kaarre  $R=500$  m

Valituilla arvoilla laskettiin ATUn puolileveyden muutokset ja tulokset yhdistettiin samaan ATU-kuvaan. Näin saatiin selville ATUn maksimiulottumat ja niiden vaikutus esteen sijoitukseen. Todettiin, että maksimissaan esteen korkeus voi olla kiskon pinnasta 940 mm ja etäisyys sisäkaarten puolella radan keskilinjasta minimissään 2140 mm. Ulkokaarten puolella esteen minimietäisyys radan keskilinjasta on 2000 mm.



Kuva 44. Esteiden limitys. Lähde: Rautateiden meluesteet, kuva 17. /13/.

Koska radan geometria on tapauskohtainen, matalan meluesteen sijainti on suunniteltava aina erikseen. Ainoastaan suoralla rataosuudella voidaan määrittellä raiteen ulkopuolella sijaitsevan esteen etäisyydeksi 1920 mm radan keskilinjasta.



### 3.1.4 Sähköradan laitteet, opastimet ja merkit

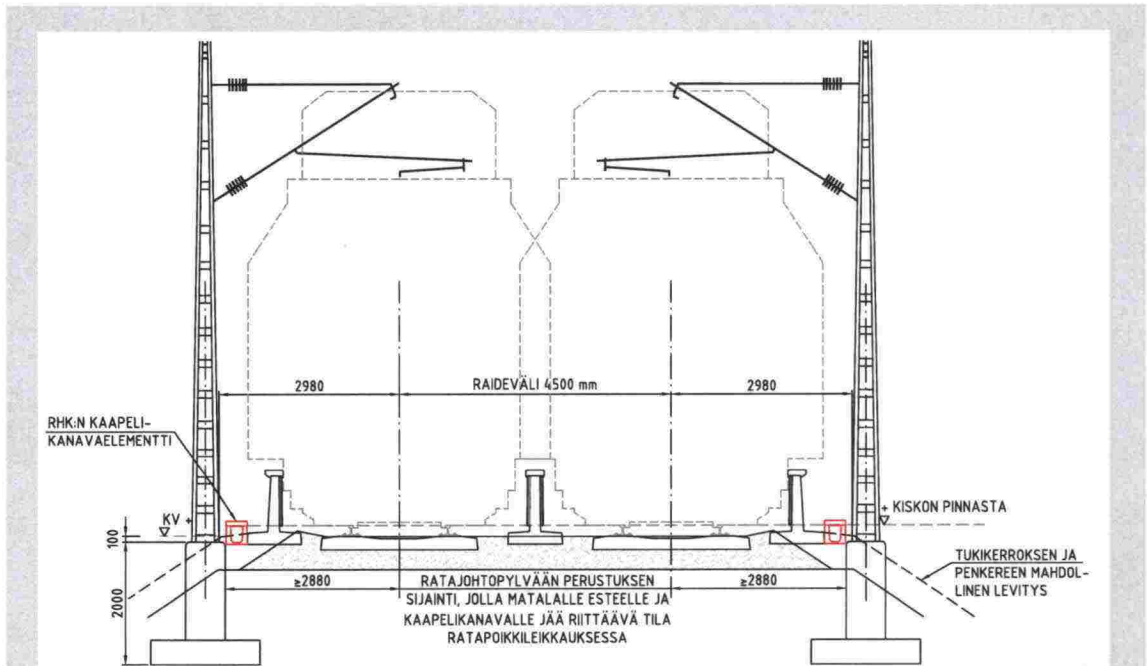
#### Ratajohtopylväät

RATOn osan 2 Radan geometria luvun 2.9.2.7 Rakenteiden sijainti /12/ mukainen suositus etäisyys ratajohtopylväille on 3100 mm radan keskilinjasta pylvään etureunaan, mutta pylväiden sijoitus etäisyys voi olla hyvinkin tapauskohtaista.

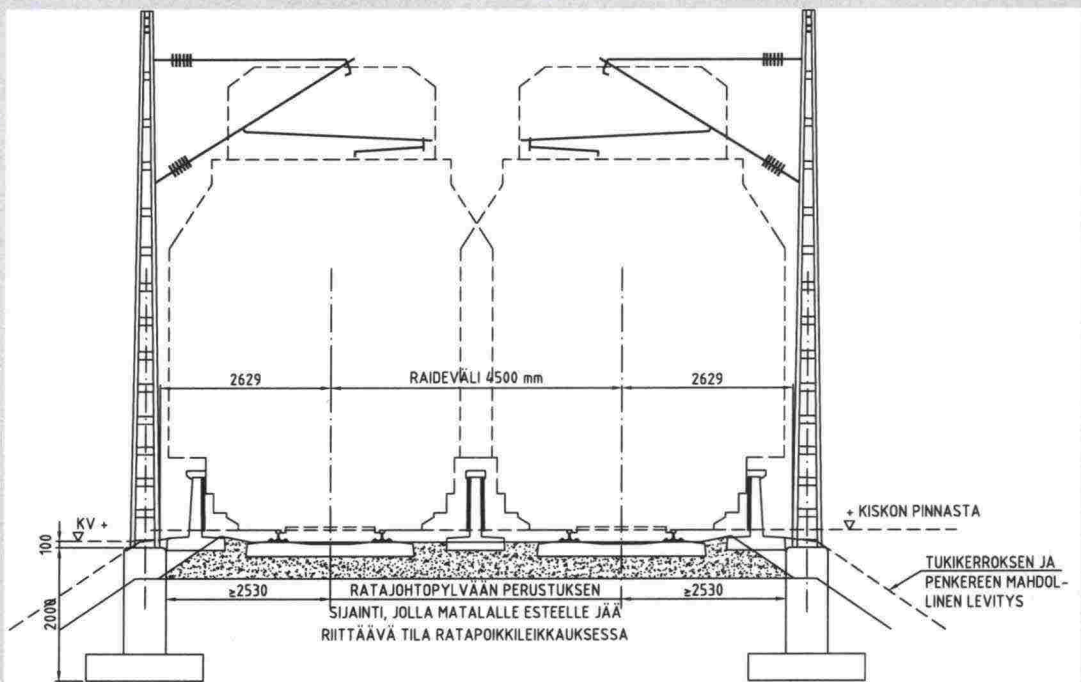
Selvityksessä tutkittiin, millä etäisyydellä sähköratapylväät ja matala melueste eivät ole päällekkäisellä linjalla toisiinsa nähden. Etäisyys radan keskilinjasta I-pylvään etureunaan tulisi olla  $\geq 2629$  mm, jotta sähköratapylvään perustus ei estäisi matalan meluesteen sijoittamista ratapoikkileikkaukseen. Mikäli esteen kohdalla on myös kaapelikanava, olisi I-pylvään etureunan oltava etäisyydellä 2980 mm radan keskilinjasta, jotta este ja kaapelikanava eivät ole samalla linjalla ratajohtopylvään perustusten kanssa. Kaarteessa ja kallistuksessa pylvään etäisyys muuttuu. Myös ATUn yläosan etäisyysmitat tulee ottaa huomioon, koska se voi määrätä sähköratapylvään sijoituksen kallistuksessa ja kaarteessa.



Kun matalaa meluestettä suunnitellaan jo olemassa olevalle rataosuudelle, on tärkeää selvittää sähköratapylväiden tarkka sijainti sekä perustusten koko. Vanhempien sähköratojen paikalla valettujen pylväasperustusten muoto saattaa vaihdella tapauskohtaisesti, jolloin pylväasperustusten muoto on selvittettävä jokaisesta pylvästä erikseen. Matala este suunnitellaan niin, että se on sovitettavissa radan ja ratajohtopylväiden väliin. Uudella rataosuudella on mahdollista suunnitella ratajohtopylväiden etäisyys radasta niin, että matala melueste ja kaapelikanava mahtuvat radan ja ratajohtopylvään perustusten väliin.



Kuva 46. Ratajohtopylvään perustuksen sijainti, jolla matalalle esteelle ja kaapelikanavalle jää riittävä tila ratapoikkileikkauksessa (ei mittakaavassa).

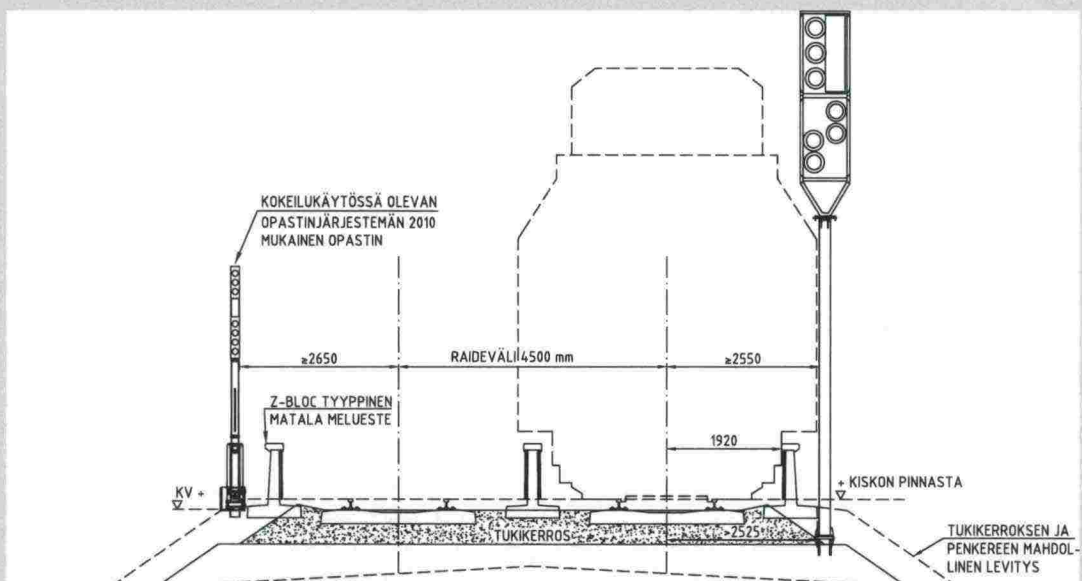


Kuva 47. Ratajohtopylvään perustuksen sijainti, jolla matalalle esteelle jää riittävä tila ratapoikkileikkauksessa (ei mittakaavassa).

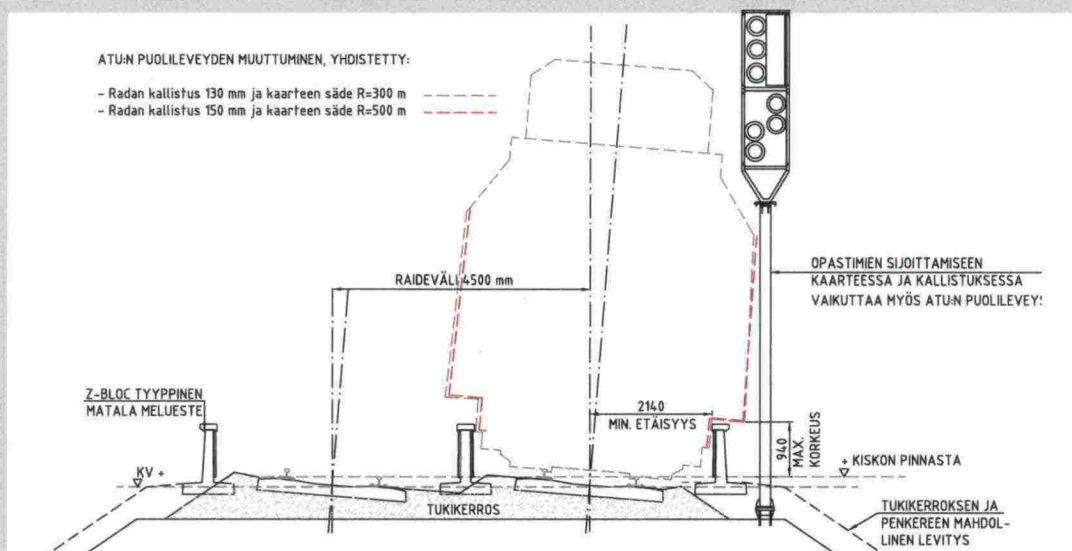
## Opastimet

Opastimien sijoitusta ohjaa RATOn osan 6 Turvalaitteet kohta 6.4 Turvalaitteen sijoittaminen /12/. Nykyisten määräysten mukaan toteutetut opastimet voivat sijaita siten, että meluste osuu opastimen kohdalle. Opastimien tulisi sijaita  $\geq 2465$  mm radan keskilinjasta, jotta meluste ja opastin eivät ole samalla linjalla. Kaarteissa opastimen etäisyyteen vaikuttaa ATUn yläosan puolileveyden muuttuminen. Opastimien sijoitus on tarkasteltava tapauskohtaisesti.

Opastimia voi olla mahdollista siirtää melusteen rakentamisen yhteydessä. Tällöin on kuitenkin varmistettava, että opastimien ohjeiden mukaiset näkemät säilyvät. Mikäli näkemävaatimuksia ei saavuteta, melusteella joko kierretään opastin opastimen takaa tai meluestettä ei käytetä opastimen kohdalla. Liikenteen turvallisuudesta ei voida tinkiä meluestettä suunniteltaessa ja sijoitettaessa radalle.



Kuva 48. Opastimien sijoitus suoralla radalla matalan melusteen kohdalla (ei mittakaavassa).



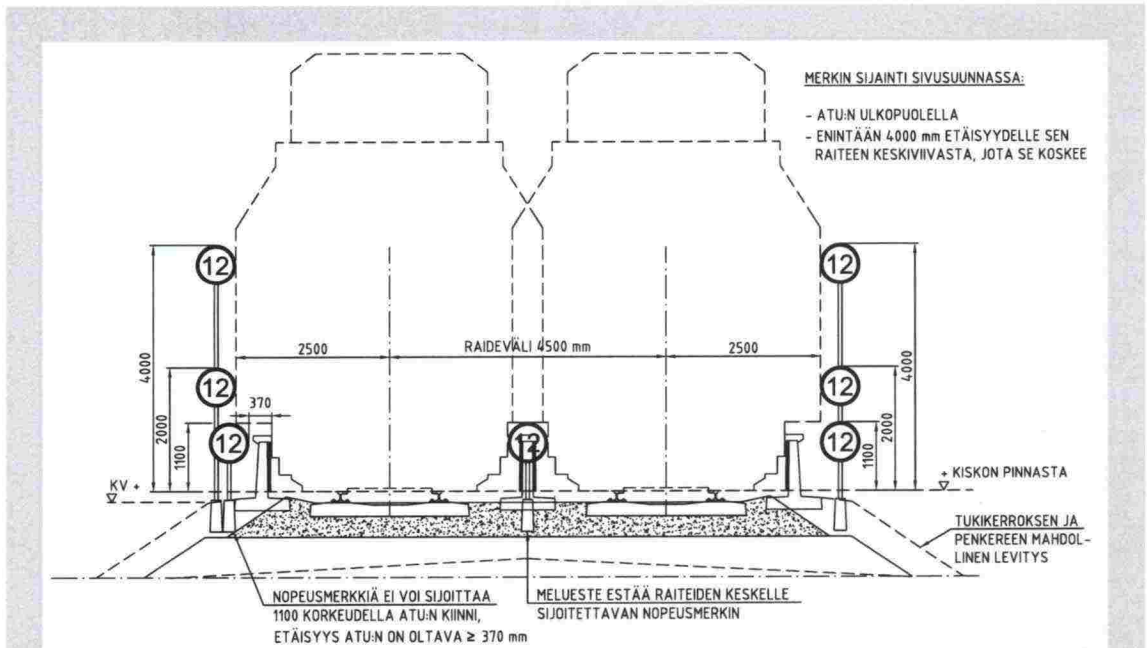
Kuva 49. Opastimien sijoitus kaarteeseen ja kallistuksen kohdalla (ei mittakaavassa).



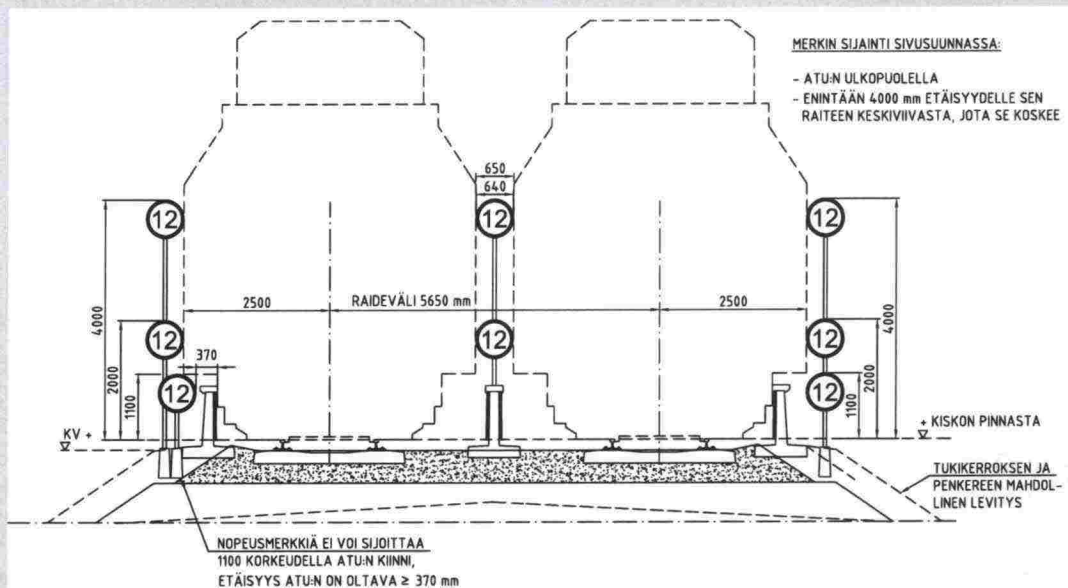
## Radan merkit

Radan merkkien sijainti on määritelty RATOn osassa 17 Radan merkit /12/. Tässä selvityksessä on käytetty esimerkkinä nopeusmerkkiä. Nopeusmerkit voidaan sijoittaa kolmelle eri korkeudelle kiskon pinnasta mitattuna: 1100 mm, 2000 mm ja 4000 mm.

Jos raiteita on useampi kuin kaksi ja niiden väli ahdas, merkki ei mahdu ATUjen väliin korkeudelle 4000 mm ja se on sijoitettava tällöin matalimmalle merkinsijoituskorkeudelle, joka on 1100 mm. Tässä tilanteessa nopeusmerkki estää meluesteen käytön raiteiden välissä, joten nopeusmerkki on voitava asentaa jommalle kummalle puolelle rataa. Raiteiden välin tulisi olla vähintään  $\geq 5650$  mm, jotta nopeusmerkki voidaan sijoittaa matalan meluesteen päälle.



Kuva 50. Nopeusmerkin sijoitus meluesteeseen nähden (ei mittakaavassa).



Kuva 51. Nopeusmerkin sijoitus raiteiden väliin ja sivuille (ei mittakaavassa).

Melueste voi myös vaikuttaa radan reunalla sijaitsevien nopeusmerkkien sijoitukseen. 1100 mm korkeudelle sijoitettavaa nopeusmerkkiä ei voida viedä ATUun kiinni meluesteen vuoksi vaan se on sijoitettava hieman kauemmaksi ATUsta, mikäli näkemät sallivat sen.

Jos merkkejä joudutaan siirtämään, ne on sijoitettava RATO:n osan 17 /12/ ohjeiden mukaisesti. Jos näkemävaatimuksia ei voida täyttää, meluestettä ei voida silloin sijoittaa merkin kohdalle.

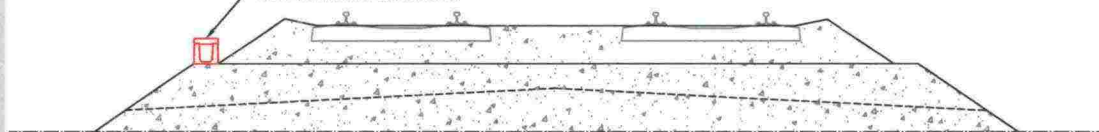
### Kaapelit ja kaapelikanavat

Radan pituussuunnassa viedään usein erilaisia kaapeleita. Tavallisesti radan suuntaiset kaapelit sijoitetaan Ratahallintokeskuksen tyyppikaapelikanavaan. Kanavaelementtinä käytetään kahta erikokoista elementtiä, joiden pituudet ovat 2 m ja 6 m. Kanavaelementin ulkomitat ovat: korkeus 370 mm ja leveys 350 mm ja sisämitat: korkeus 240 mm ja leveys 200 mm. Kuvassa 52 näkyy Ratahallintokeskuksen tyypillisesti käyttämä kaapelikanavaelementti.

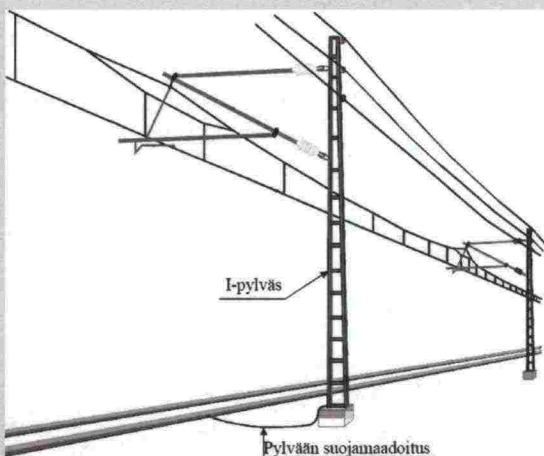
Kaapelikanava on mahdollista suunnitella osaksi meluestettä niin, että meluesteeseen varataan kaapelikanavaa vastaava tila. Tilan tulee sijaita raiteen suunnasta tarkasteltuna meluesteen ulkopuolella. Vaihtoehtoisesti kanava tulee sijoittaa meluesteen ja sähkörata-pylväiden väliin. Kanava tulee sijoittaa niin, että se on helposti avattavissa ilman erillisiä nostolaitteita.

Raiteille tulevia kaapeleita ovat esimerkiksi pylvään suojamaadoituskaapeli paluukiskoon ja kaapeli paluukiskosta paluuvirtajohtimeen. Raiteille tulevat kaapelit viedään tarvittaessa meluesteen rakenteen läpi. Radan kaapelit eivät saa jäädä esteen alle ja vaikeuttaa näin kaapeleiden huolto- tai muutostöitä. Läpiviennin halkaisijavaatimus on 100 mm ja läpivien- nin tulee olla mahdollisimman matalalla, enintään kiskon tasolla. Läpivientimahdollisuus tulee olla 2 m välein.

RHK:N TYYPPIKUVAN  
MUKAINEN KAAPELIKANAVA



Kuva 52. Ratahallintokeskuksen tyypillisesti käyttämän kaapelikanavaelementin normaali sijoitus ratapoikkileikkauksessa (ei mittakaavassa).



Kuva 53. Ratajohtopylvään suojamaadoituskaapeli. Lähde: RATO 5 /12/.



### Siltojen kohdat

Matalan meluesteen sijoitus sillan kohdalla suunnitellaan tapauskohtaisesti. Este voidaan sijoittaa sillalla vaihtoehtoisesti sillan kannelle tukikerroksen päälle tai reunapalkin päälle. Suunnitelmissa on esitettävä, kuinka melueste kiinnitetään sillan kaiteeseen ja millainen korotusosa kaiteeseen tehdään, jotta sillan kaiteen korkeusvaatimus täyttyy.

#### 3.1.5 Erikoiskuljetukset

Tyypillisimpiä erikoiskuljetuksia ovat muuntajien kuljetukset. Suurmuuntajien kuljetuksia on yleensä muutaman kerran vuodessa. Kuljetusta suunniteltaessa otetaan huomioon rataosuuksilla olevat kiinteät esteet, joita ei voida poistaa, esimerkiksi sillat, tunnelit, ajolangat ym. rakenteet. Nämä yhdessä muuntajan mittojen kanssa määräävät vaunun kuormauksen ulottumamitat.

Erikoiskuljetuksissa käytetään Osg-suurkuormavaunua, jonka maksimipituus on 72940 mm ja se on varustettu siirtotelikeskiöllä. Vaunun kuormatilan leveys on säädettävissä 3000–3800 mm:iin Kuorman alapinta voi olla minimissään 200 mm kiskon pinnasta. Tämän matalammalla ei voida kuljettaa, koska tällöin kallistuksista ja vaunun joustoista johtuen vaihteiden rakenteet estävät liikkumisen. Kuormatilaa voidaan siirtää 600 mm sivusuunnassa ja 550 mm korkeussuunnassa ottaen huomioon kuorman mitoitus, vaunun vakavuus ja ulkoiset esteet.

Vaunun ulkoleveys on 4240–4440 mm. Suurin ulkoleveys vaunussa alkaa korkeudella 900 mm kiskon pinnasta. Tapauskohtaisesti tämä voi kuitenkin olla matalammallakin.



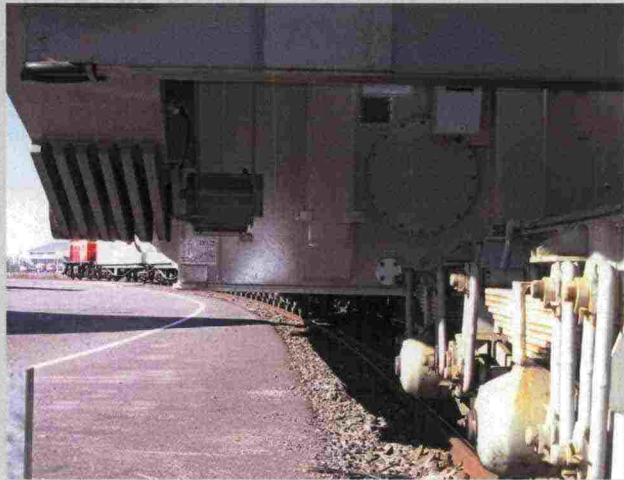
*Kuva 54. Muuntajakuljetus Osg-vaunulla. Lähde: Kari Raittila, VR Cargo.*



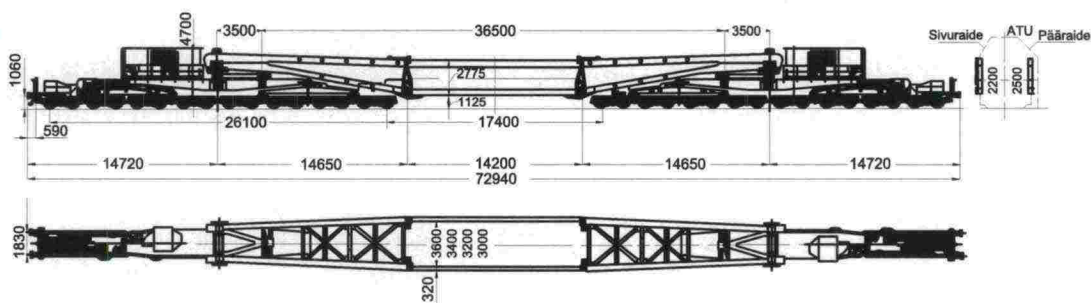
*Kuva 55. Muuntajakuljetus Osg-vaunulla sillan kohdalla. Lähde: Kari Raittila, VR Cargo.*

Selvitystyössä päädyttiin erikoiskuljetuksista vastaavien asiantuntijoiden antamien tietojen perusteella siihen, että meluesteen on oltava sellainen, että se pystytään purkamaan tai siirtämään erikoiskuljetusten tieltä. Kuormaus huomioon ottaen suurkuormavaunua on mahdollista hieman nostaa meluesteen kohdalla.

Suoralla rataosuudella matala este mahtuu sivupalkkien alle jäävään tilaan, mikäli este on matalampi kuin 900 mm. Niinpä päädyttiin siihen, että esteen korkeuden tulee olla maksimissaan 850 mm +10 mm –20 mm. Este on kuitenkin pyrittävä mitoittamaan mahdollisimman korkeaksi maksimikorkeuden vaatimus huomioiden. Esteen suunnittelussa on otettava huomioon, että se voidaan sijoittaa myös raiteiden välissä olevaan tilavaraukseen tai esteestä on suunniteltava versio, joka voidaan sijoittaa raiteiden väliin. Matalan esteen etäisyys, 1920 mm, suoralla rataosuudella radan keskilinjasta riittää siihen, että kuljetusvaunu mahtuu kulkemaan esteen vierestä.



Kuva 56. Muuntajan pohja.  
Lähde: Kari Raittila, VR Cargo.

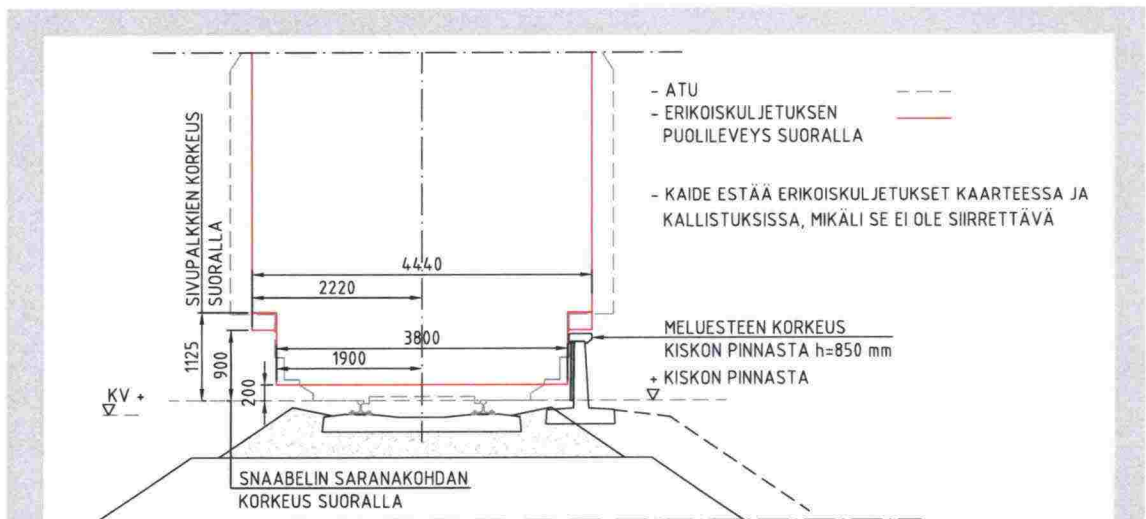


Kuva 57. Osg-waunun mitat /19/.

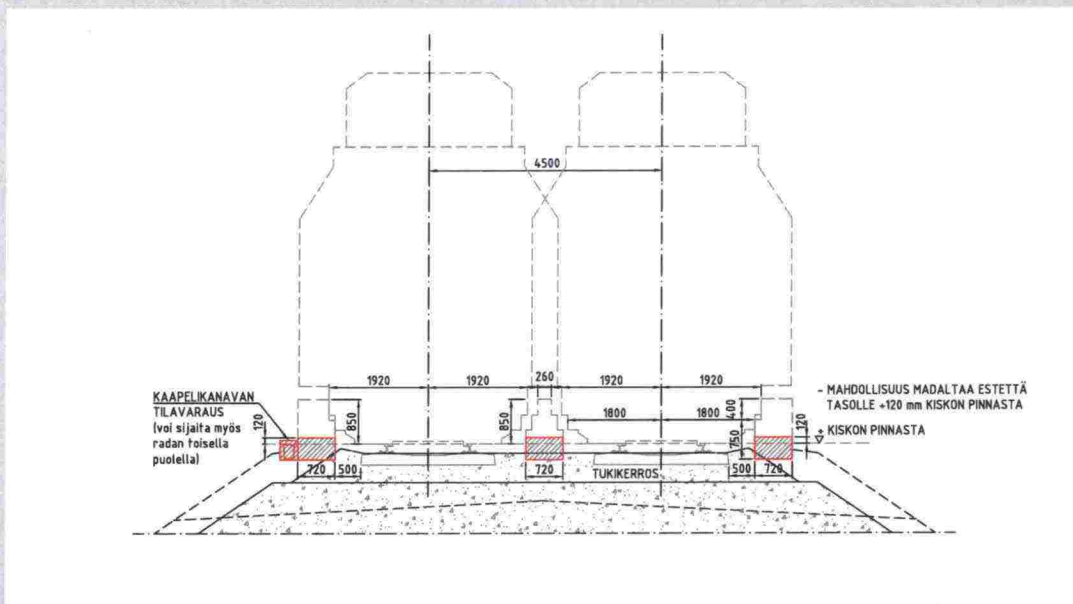


Kaarteissa vaunun ulottuman mitat muuttuvat kaarresäteen, kallistuksen ja vaunun joustojen ja välysten mukaan. Vaunun vakavuus voi myös vaatia kuormatilan sivusiirtoa sisäkaarteen puolelle, mikä suurentaa entisestään sisäkaarteiden puoleista ulottumaa. Esimerkiksi kaarresäteellä  $R=300$  m Osg-vaunun keskikohdan geometrinen ulottuma raiteen keskiviivasta ilman kallistuksia, vaunun välyksiä ja vaunun joustoja on 2849 mm. Toisaalta ATUn puolileveyden ulottuma samassa kohdassa on 2140 mm, kun raiteen kallistus on 130 mm. Näin ollen erikoiskuljetus estyisi, jos matala meluste olisi sijoitettu ATUn vaatimusten mukaisesti, eikä estettä voisi madaltaa.

Selvitystyössä päätettiin, että matala meluste on pystytävä madaltamaan erikoiskuljetusten vuoksi vähintään tasolle +120 mm kiskon pinnasta siten, että esteen perustukset pysyvät paikoillaan. Näin erikoiskuljetuksia ei estetä ja kuljetusta suunniteltaessa voidaan ottaa huomioon este-elementtien siirron kustannukset. Esteen siirtokustannuksia madaltaa kuitenkin se, että estettä ei tarvitse perustaa uudelleen erikoiskuljetuksen jälkeen, vaan esteestä voidaan irrottaa ainoastaan yläosa ja asentaa se kuljetuksen jälkeen takaisin paikoilleen.



Kuva 58. Osg-suurkuormavaunun ulottumamitat suoralla rataosuudella (ei mittakaavassa).



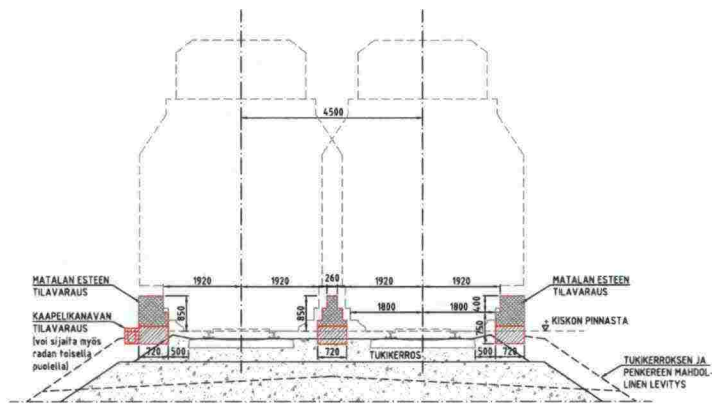
Kuva 59. Esteen madaltaminen erikoiskuljetusten tieltä (ei mittakaavassa).

### 3.2 Esteen rakenteelliset suunnitteluperusteet

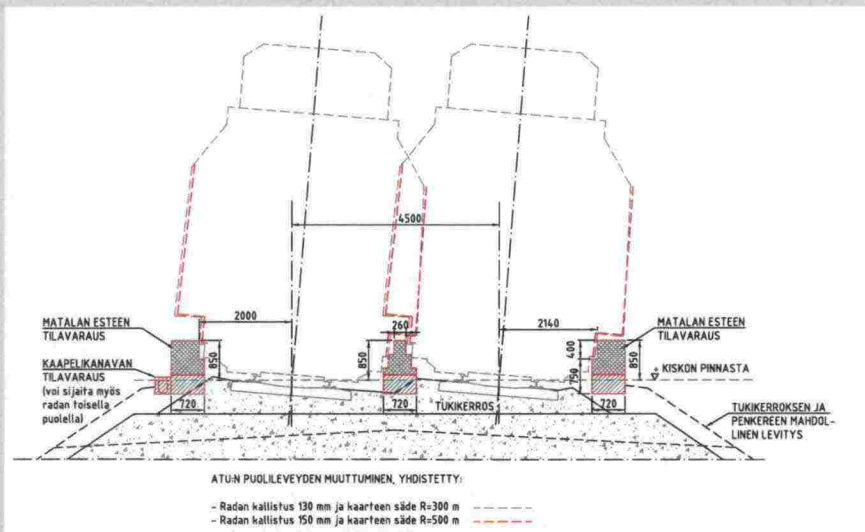
Selvitystyön aikana todettiin, että esimerkiksi Ruotsissa käytössä oleva Z-bloc-melukaide ei täytä sellaisenaan kaikkia niitä vaatimuksia, jotka selvitystyössä tulivat esille. Niinpä tehtiin erillinen tuotevaatimusdokumentti, jossa on koottuna kaikki ne vaatimukset, jotka koskevat matalan meluesteen suunnittelua ja rakentamista Suomessa. Tuotevaatimuksissa pyrittiin jättämään mahdollisuus uudentyyppisen tuotteen kehittämiseksi markkinoille.

Tässä luvussa esitetään matalasta esteestä tehdyn tuotevaatimusdokumentin esittämät vaatimukset esteen rakenteelliselle suunnittelulle sekä lisätietoja siitä miksi ko. vaatimuksiin päädyttiin.

Tuotevaatimusdokumentissa ei määritely tarkemmin esteen muotoa, vaan ilmoitettiin millainen on esteelle varattu tila ratapoikkileikkauksessa. Tilavaraus perustuu niihin raja-arvoihin, joita mm. ATU, radalla sijaitseva tekniikka ja turvallisuus asettavat. Kuvassa 60. nähdään matalalle esteelle varattu tila ratapoikkileikkauksessa.



Kuva 60. Matalalle esteelle varattu tila suoralla rataosuudella (ei mittakaavassa).



Kuva 61. Esimerkki ATUn puolileveyden ja matalan esteen tilavaruksen etäisyyden muuttumisesta kaarteissa ja kallistuksessa (ei mittakaavassa).



### 3.2.1 Melunvaimennusvaatimukset

Akustisten laatuvaatimusten osalta noudatetaan myös matalan meluesteen kohdalla Rautateiden meluesteet -julkaisua /13/. Ohjeissa on määritelty äänen eristävyysvaatimukset, absorptio l. äänen imevyysvaatimukset ja diffraktion l. äänen taittumisen vaatimukset.

Matala melueste torjuu tehokkaimmin matalalta, n. 0,3...0,5 m korkeudelta lähtevää pyörän ja kiskon kohtaamisesta syntyvää melua, joka on usein raideliikenteessä hallitsevin melunlähde. Meluesteen merkitys pienenee, jos kohde sijaitsee raiteita korkeammalla. Vastaavasti hyöty korostuu, jos kohde sijaitsee raiteiden tasausta alempana. Melunvaimennusominaisuudet on kuitenkin aina selvitettävä melulaskentaohjelman avulla. Meluesteen toimivuutta voidaan arvioida myös koekohteissa tehtävien ennen/jälkeen melumittausten avulla.

### 3.2.2 Esteen ulkonäkö

Matalan esteen tulee olla ulkonäöltään ja väriykseltään rataympäristöön ja sen muihin rakenteisiin tai rakennettuun ympäristöön sopiva. Esteessä voidaan käyttää ympäristöön soveltuvaa verhoilua. Verhoilun tulee kuitenkin olla erikseen esteeseen kiinnitettävissä. Esteen ulkopintaan voidaan asentaa esimerkiksi suojaverkko 15–20 cm etäisyydelle rakenteen pinnasta töhryjen teon vaikeuttamiseksi. Matalan esteen on oltava kunnossapidon kannalta mahdollisimman yksinkertainen rakenne, eikä siinä saa olla helposti rikkoontuvia osia.

Esteen muodon valinnassa on otettava huomioon sen melunvaimennusominaisuudet. Esteen radan puoleinen pinta on oltava mahdollisimman vähän huoltoa vaativa, mutta kuitenkin materiaaliltaan sellainen, joka täyttää meluvaimennusvaatimukset. Raiteiden väliin tulevan meluesteen on täytettävä huolto- ja meluvaimennusvaatimukset molemmilta puoliltaan. Hätä- ja erikoistilanteita varten este on suunniteltava siten, että sen päälle on pystyttävä astumaan. Poistumista junasta käsitellään luvussa 3.3.4 tarkemmin.

Matalan esteen suunnittelussa on huomioitava vedenohjaus pois päin radalta. Esteessä ei saa olla sellaisia raiteen suuntaisia ulokkeita, jotka aiheuttavat lumen kinostumista.

### 3.2.3 Materiaalit

Materiaalien on täytettävä vaadittu käyttöikä ja niiden on oltava säänkestäviä ja ulkoilmaan soveltuvia. Matalan meluesteen kestoikä on täytettävä Rautateiden meluesteet -julkaisun kohdan 4.1 mukaiset vaatimukset /13/. Meluesteen tukirakenteiden on kestävä rasisusta 30 vuotta. Akustisten elementtien käyttöikävaatimus on 15 vuotta. Rakenne on kuitenkin suunniteltava niin, että rakenneosat, jonka käyttöikä on 15 vuotta, on vaihdettavissa materiaalin tultua käyttöikänsä päähän.

Materiaalivalinnassa on otettava huomioon ilkeä ja esteen puhdistettavuuden vaatimukset. Materiaalin on kestävä esimerkiksi töhrynsuoja-aineella käsittely sekä töhryjen poisto pinnalta syöpymättä tai muulla tavoin turmeltumatta. Rakenneosat, jotka ovat helposti vaurioituvia ilkeän suhteen, on suunniteltava helposti vaihdettaviksi.

Esteessä käytettävien materiaalien tulee olla yhteensopivia ja rakenneosien on kestävä hyvin UV-säteilyä. Materiaaleista ei saa rakentamisen ja käytön aikana irrota haitallisia aineita. Käyttöikänsä saavuttaneen esteen materiaalien hävittäminen tai uusiokäyttö määritellään suunnitelmissa. Matalan esteen suunnittelussa pyritään käyttämään materiaaleja, joita voidaan kierrättää.

Rakenteen suunnittelussa on otettava huomioon rakenteen sovitettavuus raiteella radan ja ratajohtopylvään väliin.

Tuotevaatimusdokumenttiin listattiin eri materiaaleille laatuvaatimuksia. Muiden kuin tuotevaatimusdokumentissa mainittujen materiaalien käyttö on hyväksyttävä RHK:lla ennen tuotteen suunnittelua ja valmistusta. Valmistajan on osoitettava muiden materiaalien kuormituskestävyys laskelmin ja tuotevaatimusjulkaisussa esitettyjen muiden vaatimusten täyttyminen.

### **Betonirakenteet**

Selvitystyössä tutkittavana esteenä käytettiin betonirakenteista estettä. Käytettäessä betonirakenteita melusteessa noudatetaan suunnittelussa ja rakentamisessa

- voimassa olevaa mitoitusstandardia, joko Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa B4 tai Eurokoodeja
- soveltuvien osin InfraRYL:n kohtia 42020 Sillan betonirakenteet ja 42030 Sillan betonielementtirakenteet
- soveltuvien osin Tiehallinnon ohjeita betonirakenteiden suunnitteluun ja rakentamiseen.

Huomiota on kiinnitettävä betonirakenteen säilyvyyteen. Teräsbetonirakenteissa käytetään betonia K35, rakenneluokka 2 ja pakkasenkestävyysluokka P30. Betonirakenteen rasitusluokka XC4,XF1.

### **Teräsrakenteet**

Teräsrakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa noudatetaan

- voimassa olevaa mitoitusstandardia, joko Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa B7 tai Eurokoodeja
- soveltuvien osin InfraRYL:n kohtaa 42040 Sillan teräsrakenteet
- soveltuvien osin Tiehallinnon ohjeita teräsrakenteiden suunnitteluun ja rakentamiseen

Rakenneteräksissä käytetään teräslaatuina S235JRG2:ta tai S355J2G3:a tai näitä parempia teräslaatuja. Teräsrakenteiden pintakäsittelynä käytetään kuumasinkitystä, standardi SFS-EN ISO 1461.

### **Puurakenteet**

Puurakenteita ei suositella käytettäväksi matalassa esteessä. Matalan melusteen tulee olla mahdollisimman helposti perustettavissa ja puurakenteinen este vaatisi ratapenkereeseen tunkeutuvat tukipilarit kestääkseen esteelle tulevat kuormitukset. Toisaalta selvitystyössä epäiltiin puurakenteen kestävyyttä mm. ilkeävaltaa kohtaan.

Mikäli puurakenteita päätetään käyttää, noudatetaan suunnittelussa ja rakentamisessa

- voimassa olevaa mitoitusstandardia joko Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa B10 tai Eurokoodeja
- soveltuvien osin Rautateiden melusteet -julkaisun kohtaa 7.5 Puurakenteet ja InfraRYL:n kohtaa 42060 Sillan puurakenteet.

Puutavaran kyllästämisen on täytettävä standardin SFS-EN 351 kyllästysluokan A vaatimukset. Liitoksissa käytettävien teräsosien tulee olla kuumasinkittyjä standardin SFS-EN ISO 1461 mukaisesti.



## **Läpinäkyvät ja heijastavat rakenteet**

Läpinäkyvällä esteellä on yleensä tarkoitus tarjota näkymä radalta ympäristöön tai keventää meluesteen ulkonäköä. Läpinäkyvien materiaalien ongelmana on kuitenkin ilkivalta ja likaantuminen. Selvitystyössä päädyttiin siihen ratkaisuun, että matalassa meluesteessä ei saa käyttää läpinäkyviä rakenteita. Koska matala este ei estä näkymiä radan ympäristössä, ei siinä ole tarvetta käyttää läpinäkyviä osia. Toisaalta läpinäkyvällä materiaalilla ei saavuteta niitä melunvaimennusvaatimuksia, jotka meluesteelle on asetettu. Voimakkaasti valoa heijastavia materiaaleja ei saa käyttää häikäisyvaaran vuoksi.

## **Pintakäsittelyt**

Pintakäsittelyn suunnittelussa on noudatettava Rautateiden meluesteet -julkaisun kohtaa 7.2.3 Pintakäsittelyt /13/. Pintakäsittelyissä on otettava huomioon se, että este on ulkonäöltään ja väriykseltään rataympäristöön ja rakennettuun ympäristöön sopiva. Pintakäsittelyissä on huomioita myös ilkivallan asettamat vaatimukset esteelle.

### **3.2.4 Esteen kuormitukset**

Matalan meluesteen rakenteellisessa mitoittamisessa noudatetaan Rautateiden meluesteet -julkaisun ohjeistusta, kohtaa 4.2 /13/. Seuraavassa on esitetty kuormituskohtaisesti käytettävät ohjeet sekä kerrottu näistä ohjeista sallittavat poikkeukset.

Selvitystyössä lähtökohtana kuormitusten tutkimiselle oli matala este, joka on perustettu tukikerrokselle tehdyn asennusalustan päälle. Matala melueste on mitoitettava maanpaineelle, tuulikuormalle, auraslumikuormalle, junan painekuormalle, iskunkestävyydelle sekä yleisesti turvallisuusnäkökohdille.

Esteen mitoittaminen tehdään Suomessa voimassa olevan mitoitusstandardin mukaan joko noudattaen Suomen rakentamismääräyskokoelmaa tai Eurokoodeja. Auraslumikuorma ei esiinny yhtäaikaaisesti tuulikuorman tai junan painekuorman kanssa. Kuormien yhdistely tehdään noudattaen Rautateiden meluesteet -julkaisun kohtaa 4.2.7. /13/

## **Maanpaine**

Maanpaineen laskemisessa noudatetaan Rautateiden meluesteet -julkaisun kohtaa 4.2.1. Lähtökohtaisesti matalalle meluesteelle ei tule suuria maanpainekuormia, jos se perustetaan tukikerroksen varaan.

## Tuulikuorma

Tuulikuorman laskemisessa noudatetaan Rautateiden meluesteet -julkaisun kohtaa 4.2.2. /13/ Tuulikuorman arvona käytetään  $1 \text{ kN/m}^2$  ja esteen päässä osuudella, jonka pituus on  $2 \cdot$  meluesteen korkeus, käytetään tuulikuormasta kaksinkertaista arvoa.

## Junan painekuorma

Junan painekuorman suuruutta selvitettiin tarkemmin selvitystyössä. Rautateiden meluesteet -julkaisun kohta 4.2.4 Junan painekuorma /13/ määrittelee painekuorman suuruuden meluesteelle, jonka etäisyys on  $\geq 2,3 \text{ m}$  raiteen keskilinjasta. Matala este on kuitenkin etäisyydellä  $1,92 \text{ m}$  raiteen keskeltä.

Oy VR-Rata Ab:n Rautatiesuunnittelun asiantuntijat antoivat lausuntonsa junan painekuorman määrittelyn osalta. Eurocodin standardin suomennusversiossa, SFS-EN 1991-2, kohdassa 6.6.2 /17/ on määritelty pystysuoraan seinämään kohdistuvan painekuorman suuruus. Tässäkin seinämän etäisyys on  $2,3 \text{ m}$  radan keskeltä.

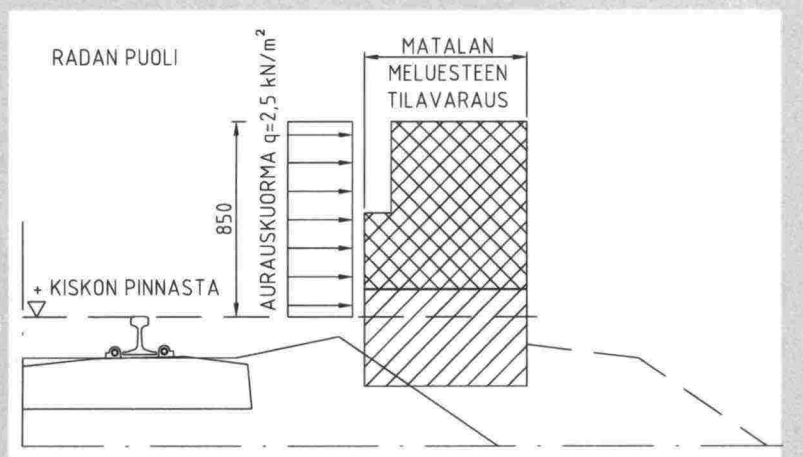
Selvitystyössä päädyttiin siihen, että noudatetaan SFS-EN 1991-2:n kohtaa 6.6.2 Yksinkertaiset raiteen suuntaiset pystypinnat. Junan mitoitusnopeus on  $220 \text{ km/h}$  ja painekuorman suuruus tällä nopeudella on noin  $0,96 \text{ kN/m}^2$ . Esteen alku- ja loppupäässä  $5 \text{ m:n}$  matkalla painekuorman arvo on kerrottava luvulla  $2,0$ .

## Aurauslumikuorma

Selvitystyössä todettiin, että suurimman kuormituksen matalaan esteeseen aiheuttaa aurauslumikuorma. Este on lähellä raidetta ja pysyy paikoillaan omalla painollaan, joten aurauskuorman kaatava vaikutus on suuri. Rautateiden meluesteet -julkaisussa määritellään aurausajoneuvon nopeudeksi  $60 \text{ km/h}$ . Tällöin aurauskuorman suuruus on  $15 \text{ kN}$  (vaikutusala  $2 \cdot 2 \text{ m}^2$ ). Ohjeistus perustuu Tiehallinnon Meluesteet-julkaisun kohtaan 3.5.2 sekä siinä viitattujen Euronormien ohjeisiin /13/. Tieliikenteessä aurauskuorman luonne on kuitenkin hieman erilainen verrattuna radan aurauskuormaan, koska tiellä liikkuvat aurat heittävät lunta voimakkaammin kuin radalla käytettävä aurauskalusto.

Oy VR-Rata Ab:n kunnossapidon asiantuntijoiden mukaan käytännössä aurauskaluston nopeus radalla on noin  $50 \text{ km/h}$ . Selvitystyön aikana päätettiin, että matalan esteen mitoituksessa aurausajoneuvon nopeus on  $50 \text{ km/h}$ , jolloin kuormituksen suuruus on  $10 \text{ kN}$  (vaikutusala  $2 \cdot 2 \text{ m}^2$ ). Kuvassa 62 on esitetty aurauslumikuorman määrittelyminen matalalle meluesteelle.

Kuva 62. Aurauslumikuorman määrittelyminen matalalle esteelle (ei mitakaavassa).





## Iskunkestävyys

Iskunkestävyys määritellään Rautateiden meluesteet -julkaisun kohdan 4.2.5 mukaisesti /13/. Iskunkestävyysvaatimus esteelle on vähintään 0,12 kNm.

## Oma- veden ja lumen paino

Matalan esteen on kestävä omapaino ja esteeseen kertyvän veden ja lumen paino murtumatta tai taipumatta liikaa.

## Lämpötilan muutos

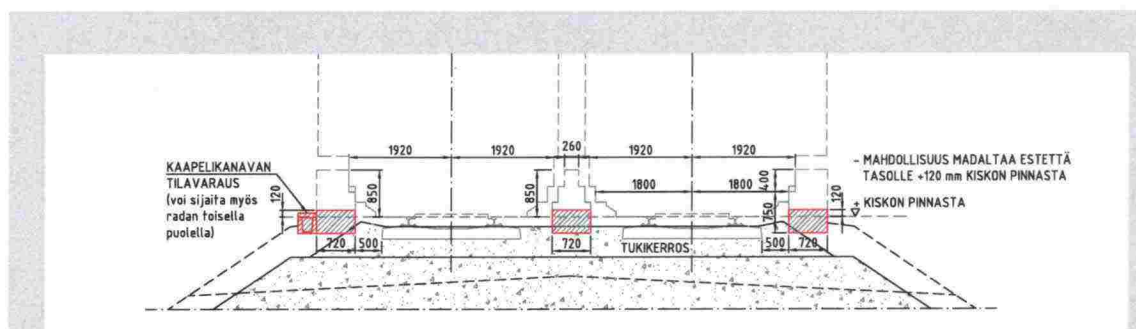
Matalan esteen on kestävä lämpötilan muutoksesta aiheutuva kuormitus rakenteeseen. Lämpötilan vaihteluväli on +45 - -45 °C.

### 3.2.5 Esteen paino, elementtien pituus ja siirrettävyys

Matalan esteen elementtipituus saa olla maksimissaan 4 m. Peruselementtien paino saa olla maksimissaan 3000 kg ja esteen siirrettävän yläosan 2000 kg. Kokonaispainon ylärajan määrää nostokaluston kapasiteetti. Elementin maksimipituutta tutkittiin kaarteiden kohdissa. 4 m elementtipituudella pystytään tekemään siistiä estelinjaa ilman esteiden suuria hammastuksia, vaikka kaarresäde olisi 300 m.

Selvitystyössä päädyttiin siihen, että esteen on oltava kaksiosainen. Perustuselementti on pystyttävä jättämään paikoilleen esimerkiksi erikoiskuljetusten ajaksi, mutta koko este on oltava purettavissa esimerkiksi raidesepelin seulonnan ajaksi.

Esteen siirrettävä yläosa voi olla joko kiinnitetty perustuselementtiin erillisillä kiinnitysosilla tai se voi olla perustuselementin päällä ilman erillistä kiinnitystä omalla painollaan. On osoitettava laskelmin, että esteen yläosa kestää kaatumatta kuormitukset. Yläosan suunnittelussa on otettava huomioon ilkeä, esimerkiksi se, että estettä ei voida helposti kaataa radalle päin tai muuten siirtää paikoiltaan ilman nostolaitetta tai työkaluja.



Kuva 63. Matalan esteen madaltaminen (ei mittakaavassa).

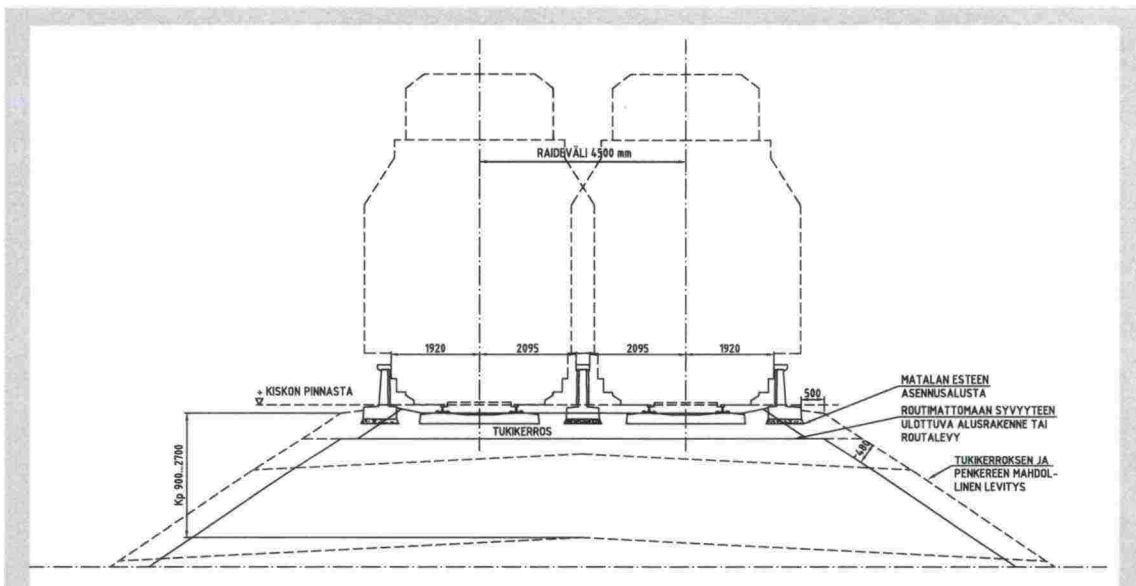
### 3.2.6 Esteen perustaminen

Lähtökohtana matalalle meluesteelle oli se, että se on mahdollisimman yksinkertaisesti rakennettavissa radan varteen. Perustamisessa noudatetaan julkaisua Ratatekniset ohjeet (RATO) osan 3 Radan rakenne /12/ sekä Rautateiden meluesteet -julkaisun lukua 5 Maa- ja pohjarakentamisen suunnitteluperusteet /13/.

Ruotsalainen meluestetyyppi perustetaan tukikerroksen päälle tehtävän alustäytön varaan. Niinpä lähtökohdaksi selvitystyössä otettiin se, että este perustetaan maanvaraisesti perustustäytön päälle. Tällöin perustamisessa on varauduttava leventämään tukikerrosta ja ratapengertä. Pengerlevennyksen suunnittelussa on huomioitava levennyksestä sekä itse esteestä aiheutuvan lisäkuormituksen vaikutus ratapenkereen stabiliteettiin ja painumiin. Esteen routasuojaus on tehtävä joko routimattomalla täytöllä tai routaeristeiden avulla.

Perustamisessa on huomioitava, että seinäelementtien eikä esteen ja maan väliin jää rakoja, jotka voivat heikentää esteen meluntorjuntaominaisuuksia, koska melu voi päästä kulkeutumaan tukikerroksen läpi, jos esteen alapuolella on kovin raekooltaan suurta materiaalia. Kyseinen ongelma oli tullut eteen Ruotsissa Banverketille rakennetulla estelinjalla, jossa meluste oli nostettu suoraan raidesepelin päälle. Melumittauksilla todettiin, että este suojasi raidemelulta, mutta melu pääsi kiertämään esteen ali sepelin läpi.

Selvitystyössä päädyttiin siihen, että esteen tulee olla kaksiosainen siten, että esimerkiksi erikoiskuljetustapauksissa esteen yläosa voidaan siirtää kuljetusten tieltä pois. Esteen perustuksen tulee kuitenkin olla sellainen, että sitä ei siirretä. Tähän ratkaisuun päädyttiin kustannussyistä. Kun esteen perustus on kiinteästi paikoillaan, ei estettä tarvitse perustaa uudelleen, erikoiskuljetuksen tai muun radalla tehtävän toimenpiteen vuoksi, joka vaatii esteen madaltamisen.



Kuva 64. Periaatekuva tukikerroksen ja penkereen levityksestä. Penkereen levitys on aina suunniteltava tapauskohtaisesti (ei mittakaavassa).

### 3.3 Turvallisuus

#### 3.3.1 Työskentely radalla

Työskentelyä radalla ohjeistaa Ratahallintokeskuksen julkaisu Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO) /15/. Matala meluste vaarantaa radalla työskentelyä. Esteen yli ei välttämättä pääse nopeasti junan tullessa, joten selvitystyössä päädyttiin siihen, että radalla tehtävät työt on aina tehtävä liikenne keskeytettynä. Näin ei pääse syntymään tilannetta, että turvamiehen turvaamassa työssä työntekijä ei ehtisi radalta pois junan tullessa.



Radalla tehtävät työt on suunniteltava etukäteen yhdessä liikennesuunnittelun kanssa siten, että työlle tarvittavat työajat, liikennöinnin keskeytykset ja muut poikkeukselliset järjestelyt on huomioitu. Ennalta suunnitellusta ratatyöstä on laadittava työn turvallisuus-suunnitelma, jolla osoitetaan, että liikennöinnin turvallisuus, työturvallisuus sekä muut työn riskit on otettu riittävästi huomioon työn kaikissa vaiheissa. Liikenteenohjaukselta on pyydettävä lupa ratatyöhön, jolloin liikenteenohjaus keskeyttää liikenteen. Matala melu este lisää radanpidon kustannuksia niiden töiden osalta, jotka nyt voidaan tehdä turvamiehen turvaamana keskeyttämättä liikennettä. Kustannusten nousun oletetaan kuitenkin olevan pientä, koska suurin osa töistä vaatii muutoinkin liikenteen keskeyttämistä ja liikenteen keskeyttäminen on tehtävä tehtävästä työstä riippumatta työturvallisuuden vuoksi aina esimerkiksi rataosuuksilla, joilla on sallittu yli 140 km/h nopeuden käyttäminen.

### **3.3.2 Lumenpoisto**

Lumi poistetaan radalta joko auraamalla tai harjaamalla lumi pois radalta. Oy VR-Rata Ab:n kunnossapidon asiantuntijoiden mukaan matala este ei vaikeuta lumen poistoa radalta. Jossain tapauksissa kaide voi estää lumen kinostumista radalla tai vaihtoehtoisesti kerätä sitä joihinkin kohtiin enemmän. Aurasajoneuvon nopeus on keskimäärin 50 km/h.

### **3.3.3 Vaunujen kytkeminen ja jarrujen irrotus**

Tavaraliikenteessä tapahtuu joitakin kertoja vuodessa vaunujen välisen kytkennän irtoamisesta johtuvia junan katkeamisia. Katkeamisriski korostuu automaattikytkimillä varustettua kalustoa käytettäessä. Automaattikytkimellä varustetun vaunun ja ruuvikytkimellä varustetun vaunun välisessä kytkennässä käytettävä apulenkki voi esimerkiksi kulumisen vuoksi päästä irti automaattikytkimestä ja tällöin vaunujen kiinnitys irtoaa. Katkeamisen jälkeen vaunut on pystyttävä kiinnittämään toisiinsa matalan meluesteen kohdalla. Lisäksi vaunun jarrujen irrottamisen irrotusventtiiliä käyttämällä on oltava mahdollista matalan meluesteen kohdalla.

Matala melu este vaikeuttaa yllä mainittuja toimintoja, koska kaiteen takaa on kurotettava tai kaiteen päällä voi joutua työskentelemään. Junan katkeaminen on kuitenkin satunnainen tilanne, joten selvitystyössä ei katsottu tämän estävän kaiteen käyttöä.

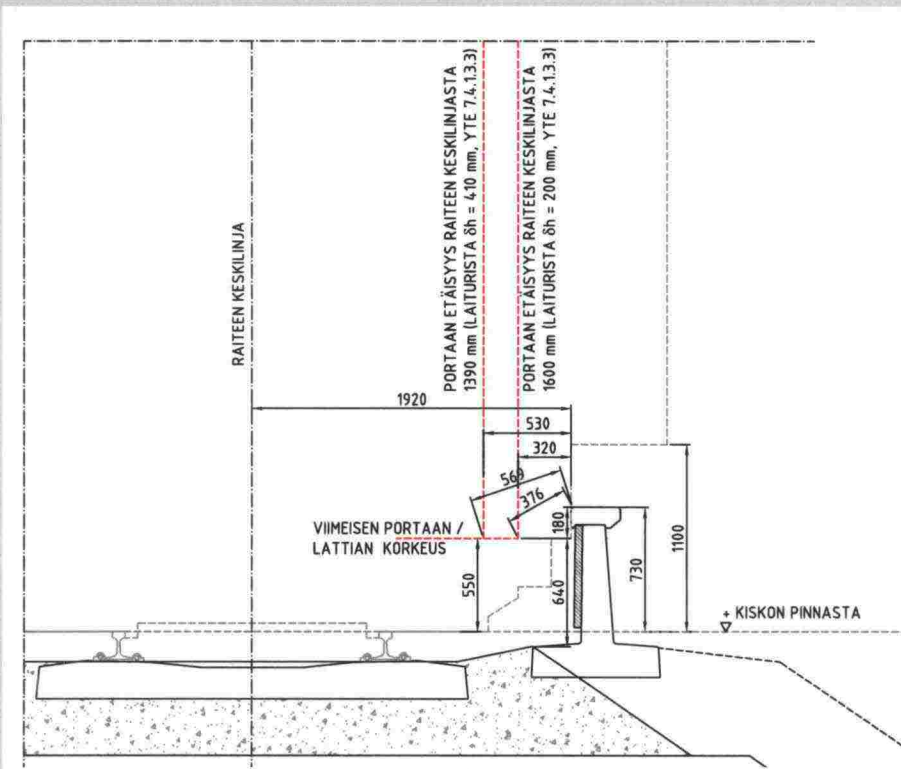
### **3.3.4 Poistuminen junasta**

Selvitystyössä tutkittiin, estääkö kaide poistumisen junasta esimerkiksi tilanteessa, jossa juna pitäisi evakuoida matalan esteen kohdalla. Poistumista selvitettiin estekorkeuksilla 730 mm, 850 mm ja 900 mm. Ruotsalainen estekorkeus on 730 mm kiskon pinnasta. Alustavissa melulaskelmissa käytettiin estekorkeutta 900 mm, mutta erikoiskuljetusten vaatimusten vuoksi estekorkeus voi olla maksimissaan 850 mm.

Saavutettavuus-YTEssä on määrätty Suomessa liikennöivän matkustajakaluston portaan sijainti. YTE:n kohdassa 4.1.2.18.1 määrätään laiturikorkeus 550 mm kiskon pinnasta. YTE:n kohdassa 7.4.1.3.3 käsitellään portaan paikkaa /16/.

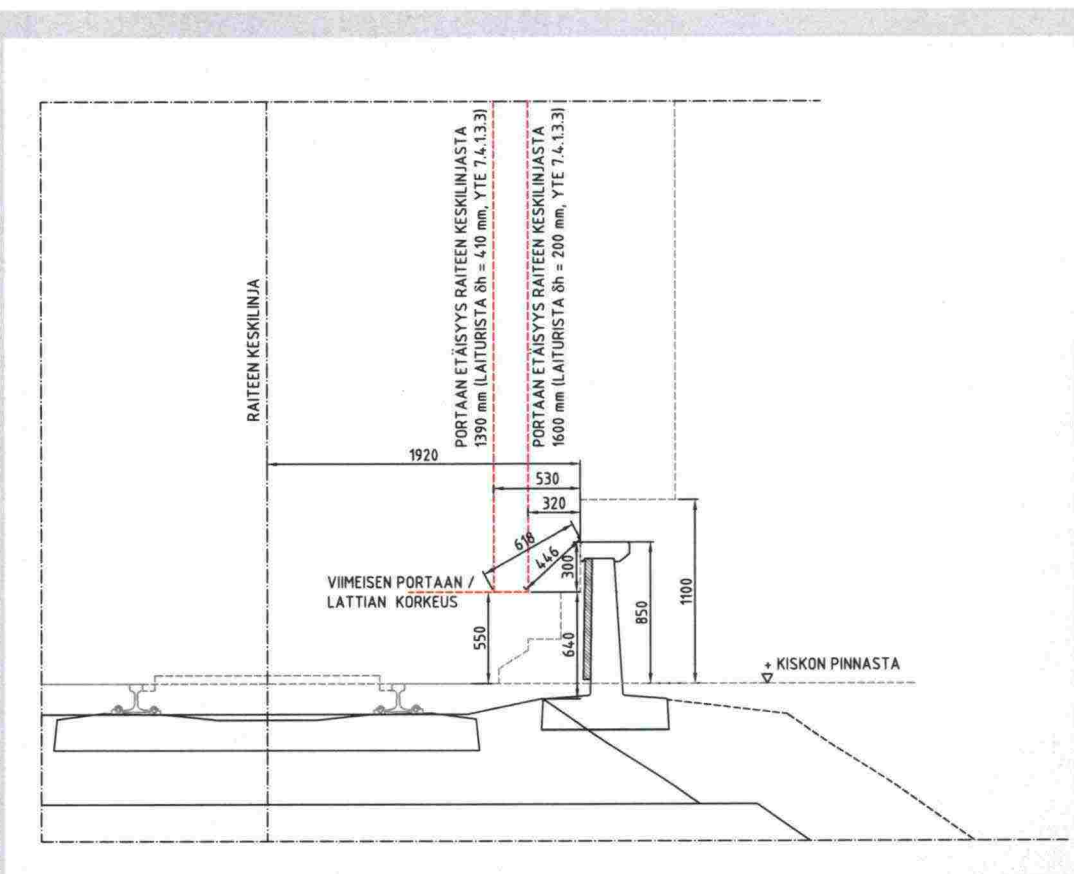
Matkustajavaunun lattian korkeusasema voi olla joko 550 mm tai 1230 mm kiskon pinnasta. Suoralla radalla ensimmäisen portaan etäisyys radan keskilinjasta tulee olla 1600 mm eli laiturin ja portaan väliin jää 200 mm väliä. Portaat nousevat ylöspäin 230 mm/askelma tai laskevat alaspäin 160 mm. Radalla, jonka kaarresäde on 300 m, ensimmäisen portaan etäisyys radan keskilinjasta on 1390 mm, jolloin etäisyydeksi laiturin jää 410 mm. Portaiden nousu tai lasku samoin kuin suoralla radalla.

Poistumisen kannalta matalan esteen tulee olla sellainen, että sen päälle voidaan astua. Seuraavista poikkileikkauskuvista nähdään, millaiset etäisyysmitat vaunun lattiatasosta tai viimeiseltä portaalta on erikorkuisten esteiden päälle. Poistumisen perusteella paras este-korkeus olisi 730 mm, koska tällä estekorkeudella astumismatka esteen päälle on lyhyin. Liikuntaesteisen kannalta matala este hankaloittaa tai estää poistumisen junasta ilman erillisiä apuvälineitä. Toisaalta poistuminen junasta on vaikeaa liikuntaesteisen kannalta myös tavallisella rataosuudella, koska pudotus junan lattian tai viimeisen portaan tasolta tukikerroksen päälle on vähintään 640 mm.

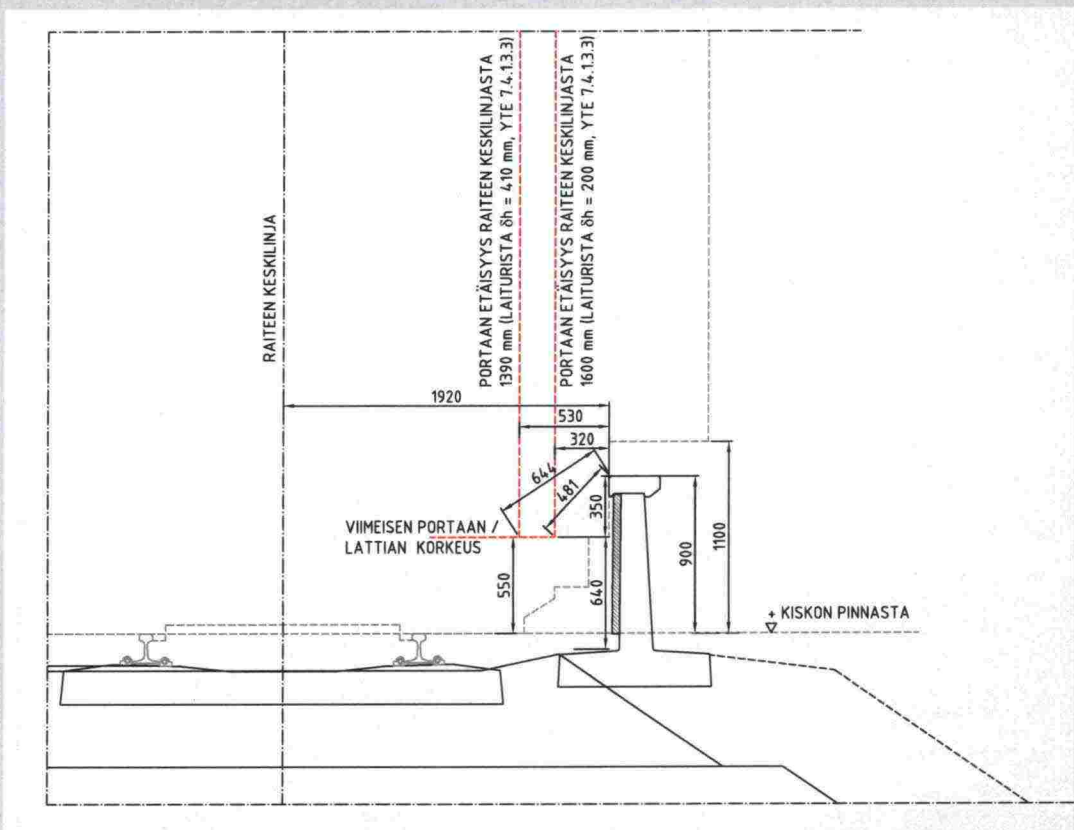


Kuva 65. Poistuminen junasta jos esteen korkeus kiskon pinnasta on 730 mm (ei mitta-kaavassa).

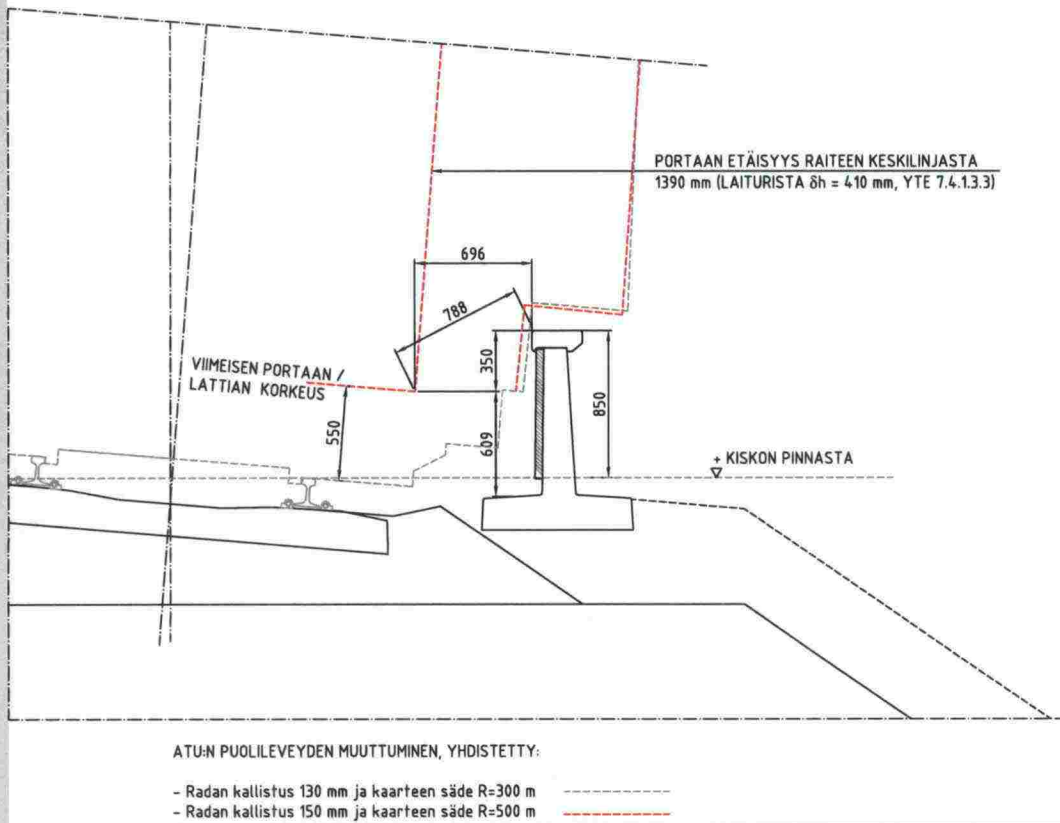




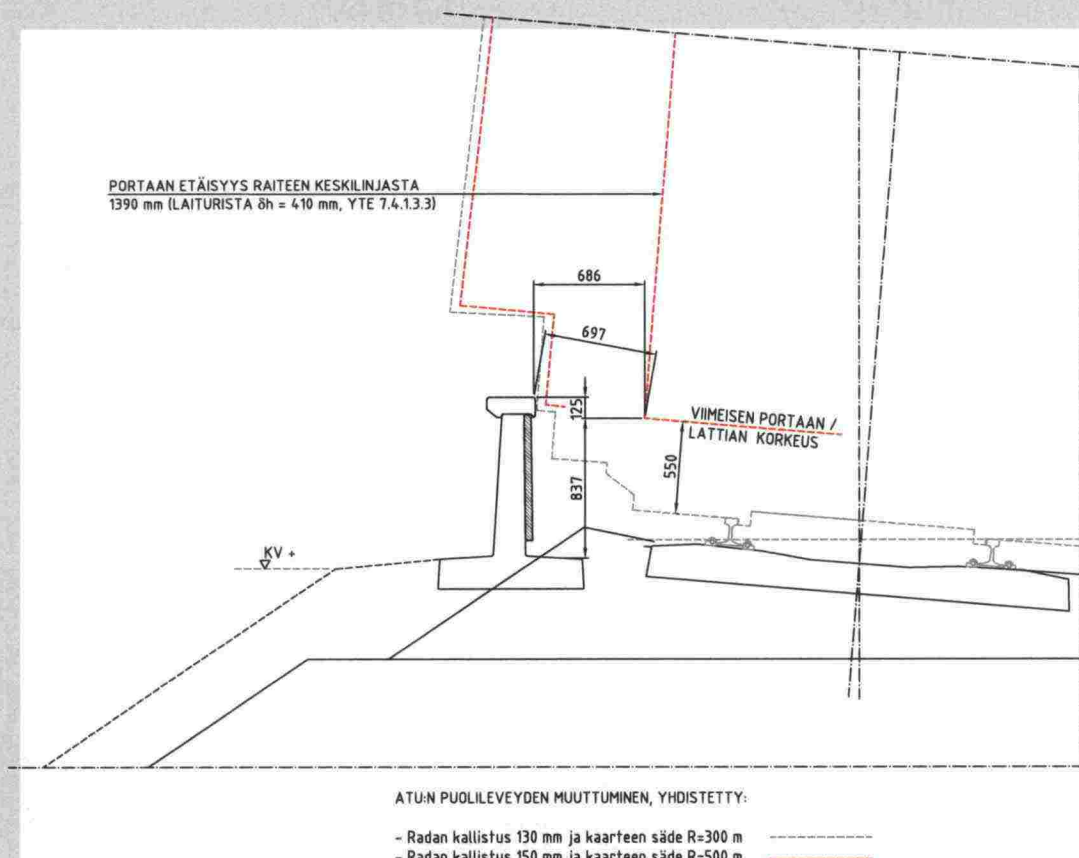
Kuva 66. Poistuminen junasta jos esteen korkeus kiskon pinnasta on 850 mm (ei mittakaavassa).



Kuva 67. Poistuminen junasta jos esteen korkeus kiskon pinnasta on 900 mm (ei mittakaavassa).



Kuva 68. Poistuminen junasta jos esteen korkeus kiskon pinnasta on 850 mm, kallistus ja kaarre (ei mittakaavassa).



Kuva 69. Poistuminen junasta jos esteen korkeus kiskon pinnasta on 850 mm, kallistus ja kaarre (ei mittakaavassa).



Selvitystyössä päädyttiin siihen, että vaikka este hankaloittaaakin junasta poistumista, esteen käyttöä ei voida kuitenkaan rajoittaa tämän syyn perusteella. Onnettomuus ja evakuointitilanteet ovat aina tapauskohtaisia ja esteen käyttö ei kuitenkaan estä junasta poistumista pelastushenkilökunnan avustuksella.

### **3.3.5 Onnettomuustilanne**

Onnettomuustilanteet ovat aina tapauskohtaisia. Jos juna suistuu radalta, on mahdollista, että törmäys heittää este-elementtejä kauaksi radalta. Suistumistilanteen raivauksessa saatetaan tarvita nosturi, joka nostaa este-elementit pois suistuneen kaluston nostamisen tieltä. Este haittaa pelastustoimia myös tilanteessa, jossa onnettomuuden uhri on jäänyt esteen kohdalle pysähtyneen junan alle.

Matalan esteen käyttö voi siis vaikeuttaa pelastustoimia tai raivaamista onnettomuustilanteessa. Este voi myös vaikeuttaa radalta poistumista. Tilanteet ovat kuitenkin tapauskohtaisia ja etukäteen ei voida arvioida, millaisia lisäkustannuksia esteen käyttö toisi mm. raivaustöihin. Kustannusvaikutukset voivat olla merkittäviä jossain onnettomuustapauksessa, mutta merkittäviä kustannuksia syntyy ilmeisen esteen käyttöä.

Este ei siis itsessään aiheuta onnettomuuksia jos noudatetaan turvallisuusohjeita radalla työskentelyssä ja ulkopuoliset eivät pääse radalle.

### **3.3.6 Ilkivalta**

Ilkivalta voi kohdistua matalaan esteeseen mm. töhryillä tai rikkomisella. Radalle voidaan heittää myös vierasesineitä, jotka aiheuttavat merkittävän turvallisuusriskin. Ilkivaltaa voidaan pyrkiä estämään turva-aitojen avulla, jolloin esteelle pääsy vaikeutuu.

Selvitystyössä todettiin, että esteen materiaalin on kestävä esimerkiksi töhrynsuoja-aineella käsittely sekä töhryjen poisto pinnalta syöpymättä tai muulla tavoin turmeltumatta. Rakennneosat, jotka ovat helposti vaurioituvia ilkivallan suhteen, on suunniteltava helposti vaihdettaviksi. Esteen on oltava sellainen, että sitä ei pystytä helposti kaatamaan radalle tai esteen irrotettavaa yläosaa ei saada ilman työkaluja irti.

### **3.3.7 Turva-aidat**

Turva-aidan tarve ja sijoitus on aina tapauskohtainen. Turva-aidan suunnittelussa meluesteen kohdalle on huomioitava työturvallisuus. Turva-aita tulee sijoittaa niin, että sen ja meluesteen väliin jää riittävä tila liikkuu.

### **3.3.8 Maadoitus**

Matalan esteen maadoitus suunnitellaan Rautateiden meluesteet -julkaisun ja julkaisun Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitus suunnittelu luvussa 7.2 Meluesteet annettujen määräyksien mukaisesti /13/ /14/. Esteen maadoitus on suunniteltava tapauskohtaisesti, mutta lähtökohtaisesti este on suunniteltava maadoitettuna.

Sähköisesti yhtenäiset, alle 50 m pituiset meluesteet on maadoitettava yhdestä pisteestä. Jos melueste on pitempi kuin 50 m, se maadoitetaan molemmista päistä sekä noin 50 m välein. Jos maadoittaminen tehdään ratajohtopylvääseen, maadoitusten väli voi olla sama kuin ratajohtopylväillä (noin 60–70 m). Suojamaadoituksen sähköjohtavuuden on vastattava sähköjohtavuudeltaan 25 mm<sup>2</sup> kupariköyttä tai 50 mm<sup>2</sup> kuumasinkittyä terästä.

### **Betonirakenteet**

Betonirakenteiden maadoituksessa noudatetaan Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitussuunnittelu -julkaisun kohtaa 5 Siltojen maadoittaminen ja 7 Aitojen maadoittaminen soveltuvilta osin /14/.

Esteen kaikki metallirakenteet ja betoniraudoitus on yhdistettävä 25 mm<sup>2</sup> Cu-johtimella tai 10 mm teräksellä maadoituspisteisiin. Maadoituspiirin osana ei saa olla sellainen osa, joka voidaan poistaa matalan esteen käytön aikana. Jos käytetään kuitubetonia, jossa on teräskuituja, este on maadoitettava asentamalla esteen yläpintaan maadoitusjohdin (25 mm<sup>2</sup> Cu tai 50 mm<sup>2</sup> Fe).

Betonirakenteet on maadoitettava joko ratajohtopylvääseen tai paluuvirtapiirin kiskoon maadoitusjohtimella.

### **Puurakenteet**

Puurakenteisen esteen maadoittamisessa noudatetaan Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitussuunnittelu- julkaisun kohtaa 7.1 Puuaidat soveltuvilta osin /14/. Puuosien yläpintaan on asennettava 25 mm<sup>2</sup> Cu- tai 50 mm<sup>2</sup> Fe-maadoitusjohdin.

Maadoitusjohdin on liitettävä joko ratajohtopylvääseen tai paluuvirtapiirin kiskoon maadoitusjohtimella.

### **Teräsrakenteet**

Teräsrakenteiden maadoittamisessa noudatetaan Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitussuunnittelu- julkaisun kohtaa 5.2 Terässillat ja 7 Aitojen maadoittaminen /14/ sekä RATOn osan 5 Sähköistetty rata kohtaa 5.3.6.3.1 Aidat ja silta soveltuvilta osin /12/.

Teräsrakenteet on maadoitettava joko ratajohtopylvääseen tai paluuvirtapiirin kiskoon maadoitusjohtimella molemmista päistään.



#### 4 MATALAN MELUESTEEN TOIMIVUUS

Matalan meluesteen toimivuutta selvitettiin melulaskennoin kahdessa esimerkkikohteessa. Vertailutietojen saamiseksi laskentoja tehtiin Luumäki–Imatra rataosuudella Lappeenrannassa, n. 6 km jaksolla välillä Mäntylä–Harapainen. Varsinainen tarkempi melu-selvityskohde sijoittui Tampere–Jyväskylä -rataosuudelle Järvensivun kohdalle Tampereen kaupunkialueella.

##### 4.1 Mäntylä–Harapainen alueen laskennat

Rataosuudella tarkasteltiin kahta eri meluestekorkeutta, 1100 mm ja 730 mm kiskon selästä. Tarkasteltava alue, Mäntylä–Harapainen, on maankäytöltään samantyyppinen Tampereen Järvensivun kanssa, pääosin pien- ja kerrostaloaluetta. Rataa ympäröivä maasto on suhteellisen tasaista.

Melusteiden toimivuutta laskettiin kaksilla eri liikennemäärillä ennustetilanteessa 2030. Vaihtoehdon 1 liikennemäärinä käytettiin Luumäki–Lappeenranta-rataosuuden vuoden 2030 ennustetilanteen mukaisia liikennemääriä, jossa tavaraliikenteen osuus on korostetun suuri. Vaihtoehdon 2 liikennemäärinä käytettiin vilkkaan henkilöliikenne-radan liikennemääriä.

Estevaihtoehto 730 mm sijoitettiin kaksoisraiteen reunoille. Sen hyöty melulle altistuvien rakennusten kohdalla oli n. 1...2 dB, eli käytännössä hyvin vähäinen.

Estevaihtoehdosta 1100 mm tutkittiin erilaisia sijoitusvaihtoehtoja. Havaittiin, että vaihtoehto, jossa este sijoitettiin sekä kaksoisraiteen reunoille että raiteiden väliin toimi parhaiten.

Taulukko 3. Junamäärät vaihtoehto 1.

Junatyyppi	klo 07-22	klo 00-07 ja 22-24	Yhteensä
Pendolinot (Sm3)	15+15	2+3	17+18
IC-junat	4+3	0+1	4+4
IC2-junat	11+11	3+3	14+14
(Yö)Pikajunat	2+2	1+1	3+3
Paikallisjuna, Sm 1/2 (1 yksikkö)	2+2	4+6	6+5
Paikallisjuna, Sm 1/2 (2 yksikköä)	9+11	1+2	10+13
Paikallisjuna, Sm 1/2 (3 yksikköä)	3+0	0+0	3+0
Paikallisjuna, Sm 1/2 (4 yksikköä)	2+1	0+0	2+1
Paikallisjuna, Sm 1/2 (5 yksikköä)	0+1	0+0	0+1
Paikallisjuna, Sm4 (1 yksikkö)	5+4	4+2	9+6
Paikallisjuna, Sm4 (2 yksikköä)	18+24	2+1	20+25
Paikallisjuna, Sm4 (3 yksikköä)	3+1	0+1	3+2
Paikallisjuna, Sm4 (4 yksikköä)	3+1	0+1	3+2
Paikallisjuna, Eil-kalusto	4+3	0+1	4+4
Taulukossa ensimmäinen luku on junien määrä pohjoiseen päin ja toinen luku junien määrä etelään päin			

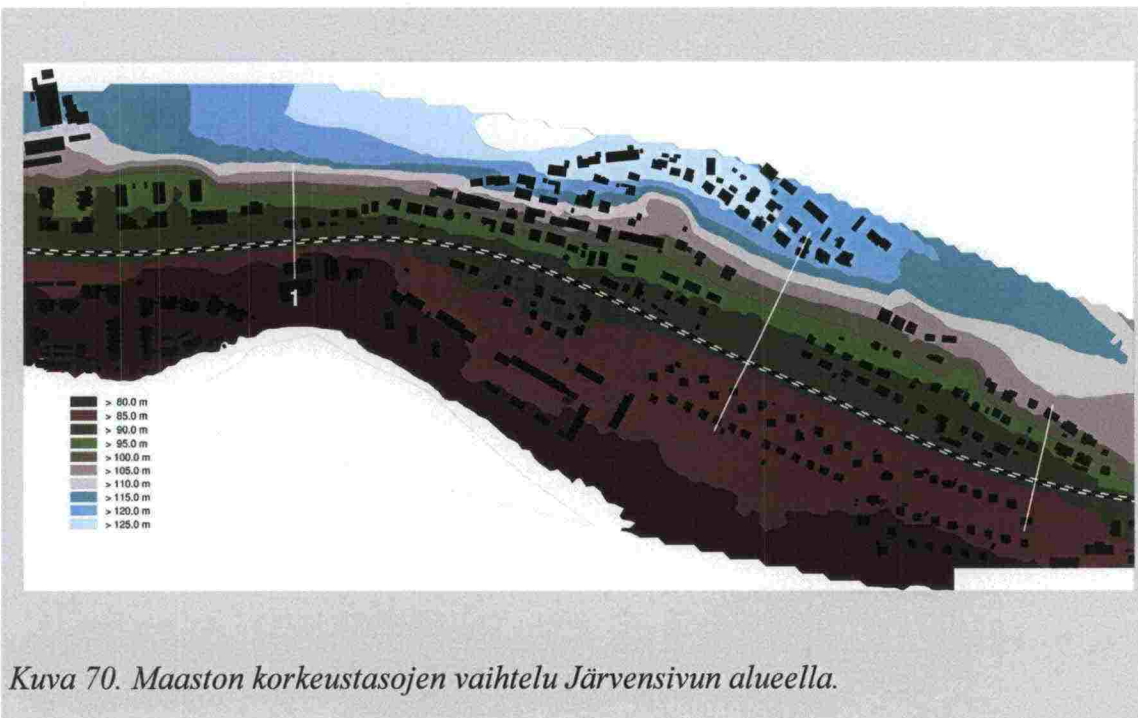
Mäntylä–Harapainen-melulaskentojen jälkeen tarkennettiin edelleen esteen sijoitusta poikkileikkauksessa, sekä vaihtoehtoisia estekorkeuksia.

Taulukko 4. Junamäärät vaihtoehto 2.

Junatyyppi	Nopeus				
		Päiväliikenne (7-22)		Yöliikenne (22-7)	
		Junien lukumäärä	Junien pituus	Junien lukumäärä	Junien pituus
Sr(IC)	160	10	204	2	204
IC2	180	2	125	0	125
Pen (junayksiköiden lukumäärä)	200	8	159	0	159
F-TaJu	100	14	600	8	600
R-TaJu	60	21	800	13	800

## 4.2 Järvensivun alueen kuvaus

Tampereen Järvensivun asuinalue sijaitsee Tampere–Jyväskylä-rataosuudella kaupungin keskustan läheisyydessä. Alueen länsipään rakennuskanta on pääosin uutta kerrostaloaluetta, alueen keskiosa ja itäpää vanhaa pientaloaluetta ja puistoalueita. Alueen itäpäässä on koulu. Raide sijaitsee etelään ja lounaaseen viettävässä rinteessä.



Kuva 70. Maaston korkeustasojen vaihtelu Järvensivun alueella.

## 4.3 Aikaisemmin esitetyt meluntorjuntatoimenpiteet

Järvensivun asuinalueelle laadittiin meluntorjuntasuunnitelma v. 2008, jossa melusuojaus suunniteltiin toteutettavaksi meluaidoin. Estevaihtoehtoina tutkittiin 1,5 m, 2 m, 3 m korkeita meluaitoja sekä 2 m ja 3 m korkeiden aitojen yhdistelmää. Näistä päädyttiin ratkaisuun, jossa meluaitojen korkeus vaihteli 2–3 metriin raiteen yläpinnasta. Maasto-olosuhteista ja korkeasta ratapenkereestä johtuen aitarakenne osoittautui todellisuudessa näitä selvästi



korkeammaksi, 2,9–4,7 m ratapenkereen ulkopuolisesta maanpinnasta mitattuna. Esteen yläosa esitettiin toteutettavaksi osittain läpinäkyvänä, mutta tästä huolimatta aita muodosti visuaalisen esteen, jonka asukkaat kokivat haittaavan asuinympäristönsä laatua ja peittävän näkymiä. Melulta suojattava alue on pituudeltaan lähes 2 kilometriä, joten molemmin puolin rataa toteutettava aita on rakenteena kaupunkikuvallisesti hyvin hallitseva.

#### 4.3.1 Matala melueste

Järvensivun alue oli suunnittelukohteena sellainen, jossa todettiin kaidetyyppisellä meluntorjuntaratkaisulla olevan onnistuessaan etuja aitaan nähden. Tästä syystä Järvensivun alue päädyttiin valitsemaan esimerkkikohteeksi, jossa selvitetään matalan meluesteen teknistä toimivuutta ja meluntorjuntaominaisuuksia.

#### 4.3.2 Melulaskennat

Raideliikenteen aiheuttamat keskiäänitasot laskettiin CadnaA-melulaskentaohjelman versiolla 3.71.125, joka mallintaa raidemeluemission pohjoismaisen raidemelun laskentamallin mukaisesti. Raideliikenteen aiheuttamat A-painotetut keskiäänitasot laskettiin kahden metrin korkeudella maanpinnasta laskentaohjelmaan muodostettua kolmiulotteista maastomallia käyttäen.

Leviämislaskelmissa laskentahila oli 10x10 metriä. Äänitaso laskettiin 1800 metrin säteellä jokaista laskentapistettä kohti ja heijastusten määrä jokaiselle äänisäteelle oli kaksi.

Melulaskennoissa käytettiin laserkeilattua maastomallia, jonka tarkkuus oli 0,1 m.

#### 4.3.3 Lähtötiedot

Melulaskentojen lähtötietoina käytettiin Järvensivussa samoja liikennetietoja kuin edellisessä suunnitteluvaiheessa (ennustetilanne v. 2030):

*Taulukko 5. Liikennemäärä Järvensivun kohdalla. \*Tavarajunista 5 % venäläistä kalustoa.*

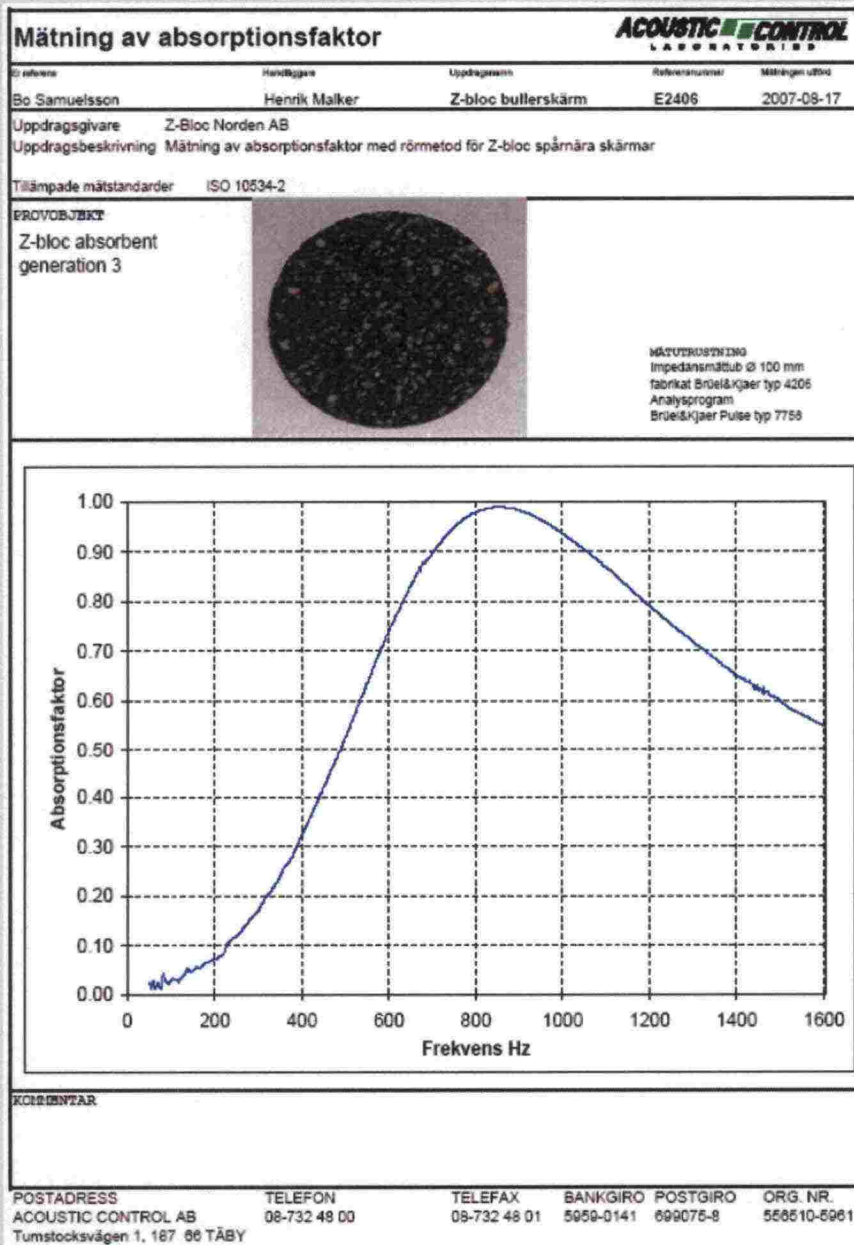
Junatyyppi	Päivä (07-22)	Yö (22-07)	Ajonopeus (km/h)	Pituus (m)
Pikajuna	6	0	110	300
Pendolino	10	3	140	200
IC	10	2	110	300
IC 2	3	0	110	125
Tavarajunat*	16	14	80	500

Liikenne jaettiin laskennoissa tasan pohjoiselle ja eteläiselle raiteelle.

Laskentojen lähtökohtana olleen Z-bloc-kaidetyypin ominaisuuksien mallintamiseen liittyvän aineiston toimitti Acoustic Control AB ja vaimennuskertoimen taajuusfunktio tietoja täydensi Nils-Åke Nilssen.

Taulukko 6. Laskennoissa käytetyt (tarkistettut) vaimennuskertoimet.

	Taajuus (Hz)									
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	AW
Vaimennuskerroin	0.00	0.05	0.05	0.30	0.55	0.95	0.40	0.40	0.40	0.45



Kuva 71. Z-bloc-tyyppisen melukaiteen vaimennuskertoimet taajuuskaistoittain.  
 Lähde: Acovistic Control laboratories.



#### 4.3.4 Tutkitut vaihtoehdot

Selvitysvaiheessa tutkittiin erikorkuisia estevaihtoehtoja, mm. 700 mm, 1000 mm, 900 mm ja 850 mm raiteen yläpinnasta. Estekorkeus ja etäisyys raiteen keskilinjasta tarkentuivat muiden teknisten selvitysten edetessä, joista yhdeksi määräävimmistä osoittautuivat erikoiskuljetukset. Tavoitteena oli estekorkeus, jolla saavutetaan mahdollisimman hyvä melusuojaustaso.

Tarkennetut laskennat tehtiin estekorkeuksilla 900 mm ja 850 mm raiteen yläpinnasta.

#### 4.3.5 Melutilanne ilman melukaidetta

Järvensivulla ennustetilanteessa yöllä ilman melusuojausta raidetta lähinnä olevat rakennukset sijoittuvat suurelta osin vyöhykkeelle 60–65 dB.

Radan pohjoispuolella 50 dB:n vyöhyke ulottuu avoimilla paikoilla ylärinteeseen enimmillään 180 metrin etäisyydelle pohjoispuoleisesta raiteesta. Radan pohjoispuolella yöajan ulkomelutason ohjearvon (50 dB) ylittävällä vyöhykkeellä on yli 100 asuinrakennusta ja yli 60 dB:n vyöhykkeellä 49 asuinrakennusta.

Radan eteläpuolella lähimmät rakennukset sijoittuvat 55–65 dB:n vyöhykkeelle. Yli 50 dB:n vyöhyke ulottuu n. 100 m etäisyydelle raiteesta. Yöajan ulkomelutason ohjearvon ylittävällä vyöhykkeellä on yli 80 asuinrakennusta ja yli 60 dB:n alueella 22 asuinrakennusta.

Julkisivujen enimmäiskeskiaänitasot ovat pohjoispuolen lähimpien asuinrakennusten kohdalla 66–69 dB ja eteläpuolen lähimpien asuinrakennusten kohdalla 65–67 dB.

#### 4.3.6 Melutilanne melukaiteen kanssa

Laskennoissa sijoitettiin melukaide raiteiden väliin ja reunoille. Laskennat tehtiin kaidekorkeuksilla  $K_v + 1080$  mm (900 mm kiskon selästä) sekä  $K_v + 1030$  mm (850 mm kiskon selästä).

Ohjelma jakaa ohiajavien junien aiheuttaman melun eri korkeuksilla oleviksi melulähteiksi. Junan moottorin ja vaunujen aiheuttama melu lähtee n. 0,8...2,0 m korkeudelta, kiskomelu n. 0,3 m korkeudelta ja pyörien aiheuttama melu n. 0,5 m korkeudelta kiskon selästä.

Kaide torjuu lähinnä kiskomelua, joten kaide tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle melulähdettä. Tehtyjen selvitysten perusteella voidaan kaide sijoittaa suoralla rataosuuksella 1920 mm etäisyydelle raiteen keskilinjasta. Kaarteissa kaide on sijoitettava tätä kauemmaksi.

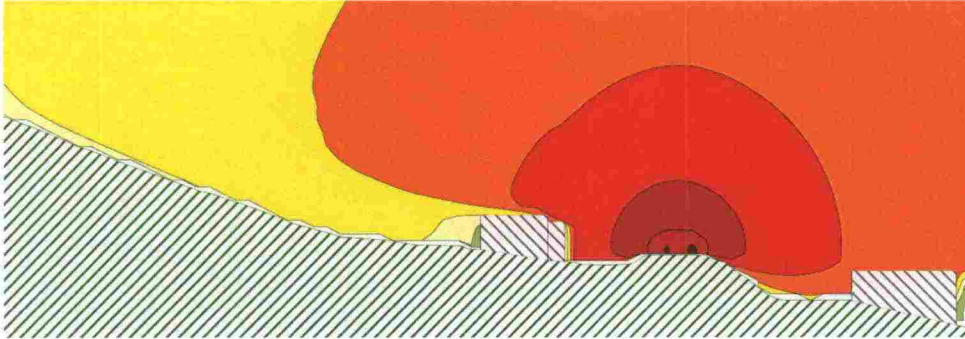
Jos viivalähde säteilee melua tasaisen sylinterimäisesti ja se on samalla korkeudella kuin meluesteen harja, noin puolet melusta ylittää esteen vaimentumatta. Esteen ominaisuuksista riippuen osa siihen kohdistuvasta melusta läpäisee esteen, osa vaimenee ja osa heijastuu takaisin. Suoraan takaisin heijastunut melu heijastuu lähteestä osittain uudestaan, jolloin puolet siitä menee jälleen esteen yli.

Matalan meluesteen teho pyritään maksimoimaan valitsemalla pintamateriaali, joka absorboi melua. Lisäksi este voidaan vielä kallistaa niin, että heijastunut melu suuntaa alaspäin eikä suoraan takaisin kohti melulähdettä.

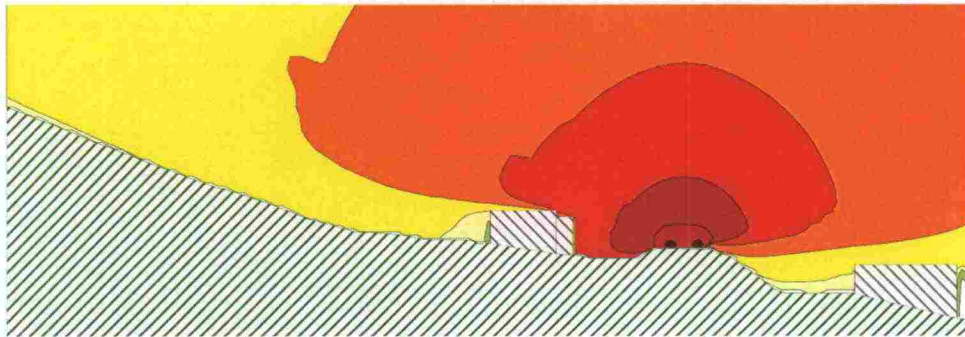
Laskentaohjelman tulosten mukaan pelkästään etelän puolelle sijoitettu kaide vähentää merkittävästi melua raiteen eteläpuolella alarinteessä. Vastaavasti pohjoispuolella ylärinteessä tilanne voi jopa huonontua. Tämä johtuu siitä, että asuinrakennukset sijaitsevat niin korkealla raiteeseen nähden, että meluesteen harja ei riitä torjumaan raiteista lähtevää melua.

Seuraavassa on poikkileikkaustarkasteluin osoitettu mitä eroa Järvensivun kohteessa havaittiin verrattuna tilanteeseen ilman melukaidetta:

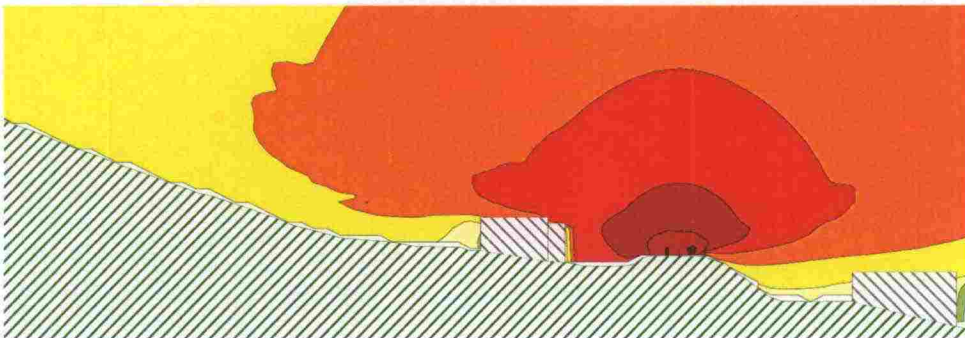
- vaihtoehto melukaide alarinteen puolella
- vaihtoehto melukaide raiteiden välissä ja alarinteen puolella
- vaihtoehto melukaide ylärinteen puolella, raiteiden välissä ja alarinteen puolella



Kuva 72. Poikkileikkaus kohdasta 1 ilman melukaidetta.

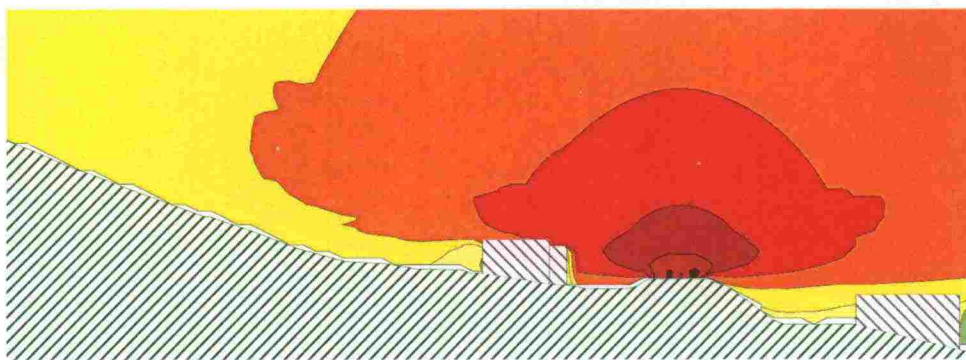


Kuva 73. Poikkileikkaus kohdassa 1, melukaide radan alarinteen puolella. Ylärinteen puolella meluhaitta lisääntyy hieman verrattuna tilanteeseen ilman estettä. Alarinteen puolella kaiteesta on selvää hyötyä.



Kuva 74. Poikkileikkaus kohdassa 1, melukaide raiteiden välissä ja alarinteen puolella. Ylärinteen puolella meluhaitat lisääntyvät hieman edellisestä.





Kuva 75. Poikkileikkaus kohdassa 1, melukaide raiteiden välissä sekä ylä- ja alarinteen puolella. Ylärinteen ja myös alarinteen puolella meluhaitat lisääntyvät hieman edellisestä.

Radan eteläpuolella yöajan ulkomelutasojen ohjearvon ylittävällä vyöhykkeellä on n. 45 asuinrakennusta. Asuinrakennuksia, joiden julkisivulle kohdistuva äänitaso on yli 60 dB, on 1 kpl.

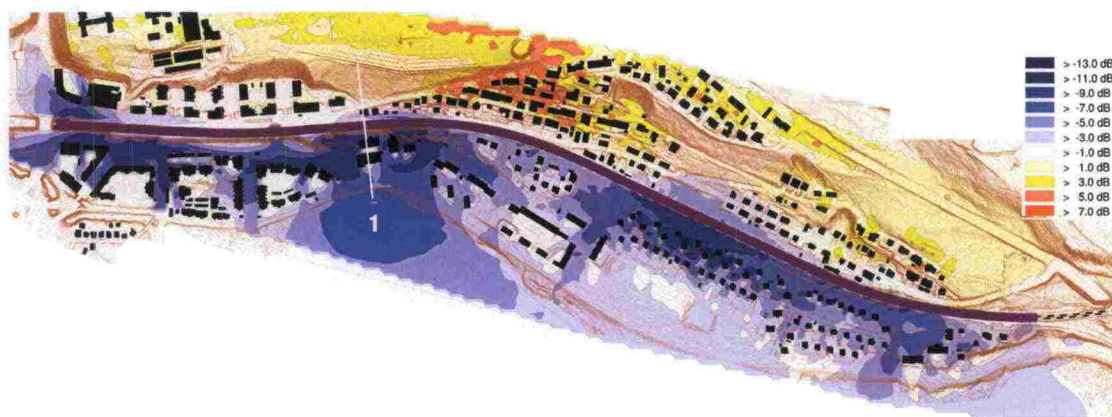
Radan pohjoispuolella yöajan ulkomelutasojen ohjearvon ylittävällä vyöhykkeellä on n. 120 asuinrakennusta. Asuinrakennuksia, joiden julkisivulle kohdistuva äänitaso on yli 60 dB, on n. 50 kpl.

Melulaskentojen mukaan radan pohjoispuolella melukaiteet suuntaavat äänenpainetta kahden metrin korkeudella voimakkaammin kohti ylärintettä siten, että alhaisemman (50...55dB) melutason vyöhyke leviää kauemmaksi kuin tilanteessa ilman melukaidetta.

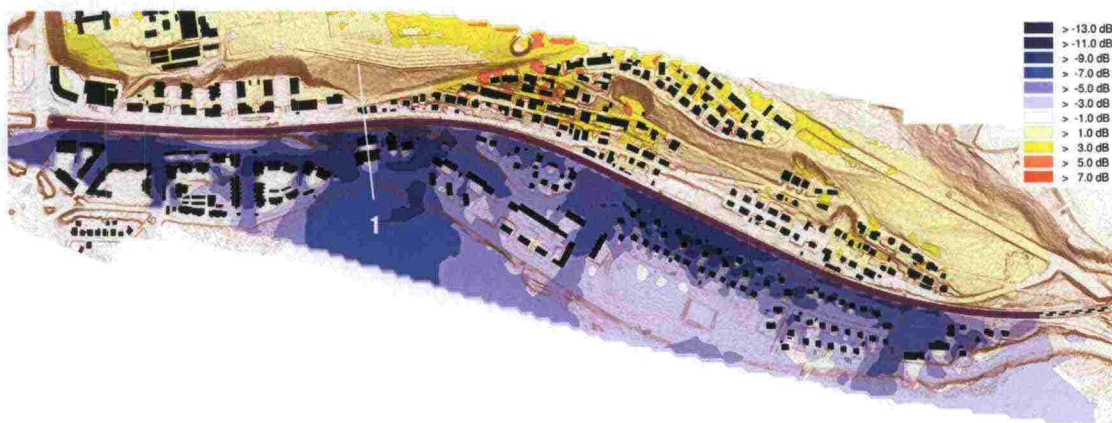
Esteen madaltamisella 50 mm ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta äänenpainotasoihin; noin 90 % koko alueesta äänenpainotasojen vaihtelu oli +0,5...-0,5 dB.

CadnaA-laskentaohjelmaa ei ole alun perin laadittu lähelle sijoitettavien kaiteiden vaikutuksen simulointiin. Lähellä rataa sijaitsevat esteet, joiden pinta on akustisesti kova, heijastavat usein huomattavan määrän äänienergiaa takaisin junan seinäpinnasta, mikä vähentää esteen tehokkuutta.

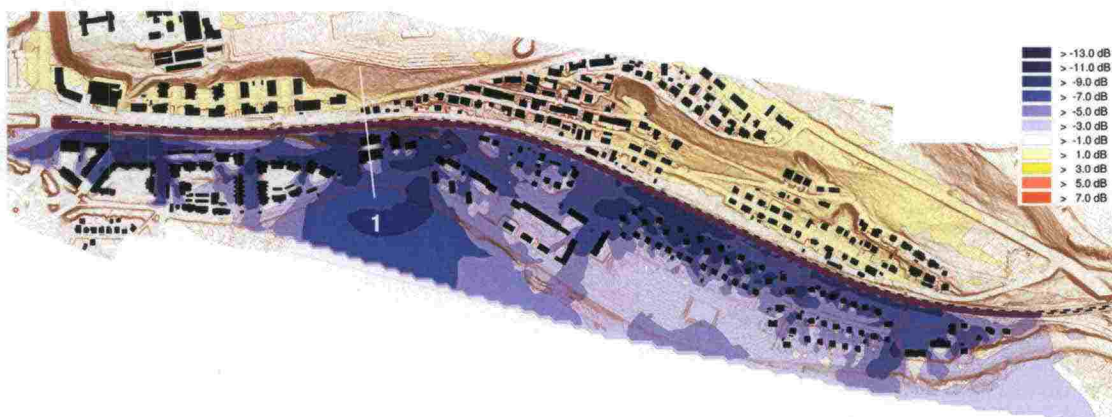
Laskentaetäisyyden ollessa yli 50 m lasketut arvot edustavat pahinta mahdollista tapausta (joka käytännössä esiintyy vain osan ajasta). Lähempänä kuin 30 m radasta ja korkeuskulman ollessa yli 20 astetta, ohjelma antaa liian suuria arvoja.



Kuva 76. Erotuskuva, jossa kaide 850 mm kiskon selästä raiteiden etelä- ja pohjoispuolella sekä ratojen välissä.



Kuva 77. Erotuskuva, jossa kaide 850 mm kiskon selästä raiteiden eteläpuolella ja ratojen välissä.



Kuva 78. Erotuskuva, jossa kaide 850 mm radan eteläpuolella.



## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 5.1 Tekniset ominaisuudet

Laadittujen selvitysten perusteella voidaan todeta, että matala melueste soveltuu raide-liikenteen meluntorjuntaan. Se on teknisesti sovitettavissa ratapoikkileikkaukseen niin, että se täyttää suunnitteluohjeet ja turvamääräykset ja mahdollistaa myös erikoiskuljetukset.

Meluntorjuntaominaisuuksiin vaikuttavat esteen koko, sijainti ja muoto sekä esteen pinnan materiaali ja sen absorboivuus. Myös ratapenkereen ja sitä ympäröivän maaston korkeuseroilla ja kaltevuudella on merkitystä. Esimerkkikohteissa matala melueste suojasi parhaiten melulta tasaisessa maastossa ja alarinteen puolella. Laskennallisesti melutasot putosivat parhaimmillaan mm. Tampereen Järvensivun alueella heti meluesteen takana 7–9 dB. Esteen toimivuus ja meluntorjuntaominaisuudet on kuitenkin osoitettava kaikissa tapauksissa melulaskennoin.

Suomessa ei ole toistaiseksi toteutettu yhtään kohdetta, jossa raideliikenteen melua olisi torjuttu matalalla meluesteellä. Selvitystyön ohessa laadittuihin tuotevaatimuksiin on koottu ne tekniset reunaehdot ja määräykset, joiden perusteella matala melueste voidaan valmistaa ja sijoittaa ratapoikkileikkaukseen.

### 5.2 Turvallisuus

Matala melueste voi haitata tai hidastaa radalla tapahtuvaa huolto- tai korjaustyötä, koska este sijaitsee lähellä raidetta. Tästä syystä selvityksessä päädyttiin siihen, että radalla tehtävät työt ovat aina ratatyötä eli työt on tehtävä liikenne keskeytettynä.

Ratatyö suunnitellaan etukäteen yhdessä liikennesuunnittelun kanssa siten, että työlle tarvittavat työajat, liikennöinnin keskeytykset ja muut poikkeukselliset järjestelyt huomioidaan. Turvallisuussuunnitelmalla osoitetaan, että liikennöinnin turvallisuus, työturvallisuus sekä muut työn riskit on otettu riittävästi huomioon työn kaikissa vaiheissa.

Onnettomuustilanteet ovat aina ennalta arvaamattomia ja ne voivat hankaloittaa merkittävästi mm. junasta poistumista. Suistumisonnettomuudessa este voi olla tiellä ja vaikeuttaa ja haitata pelastustoimia.

Este ei kuitenkaan itsessään aiheuta onnettomuuksia, jos noudatetaan turvallisuusohjeita radalla työskentelyssä ja ulkopuolisten pääsy radalle estetään. Onnettomuuden sattuessa vastuun tilanteesta ja mm. matkustajien poistamisesta junasta ottavat pelastusviranomaiset.

### 5.3 Hinta

Matalan meluesteen hinta koostuu esteen valmistamis- ja rakentamiskustannuksista. Penkereen mahdollisella levityksellä voi olla huomattava kustannusvaikutus, mutta se on aina tapauskohtaista. Esteen materiaali vaikuttaa hintaan, samoin sen asennettavuus.

Tavallisen absorboivan meluaidan voidaan arvioida maksavan noin 900–1300 €/jm riippuen estekorkeudesta ja perustamistavasta. Matalan esteen alustavia kustannuksia on arvioitu ottamalla esimerkiksi betonirakenteinen estetyyppi. Alustava kustannusarvio betoniselle meluesteelle riippuen penkereen levityksen suuruudesta on n. 400–800 €/jm.

Esteen lopulliset kustannukset saadaan selville vasta, kun tuotetta on valmistettu ja sitä on koekäytetty.

## LÄHTEET

- /1/ Altistuminen ympäristömelulle Suomessa, Tilannekatsaus 2005, Larri Liikonen ja Paula Leppänen, Suomen ympäristö 809, Helsinki 2005
- /2/ Infra RYL 2006 osat 1–3
- /3/ Fritt utrymme utmed banan, Föreskrift BVF 586.20, Banverket 1998
- /4/ Melutasojen ohjeavot, [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi)
- /5/ Meluntorjunnan valtakunnalliset linjaukset ja toimintaohjelma, Suomen ympäristö 696, Helsinki 2004
- /6/ Tiivistelmä rautateiden melupäästöjen vähentämiseen tähtääviä eurooppalaisia strategioita ja tavoitteita koskevasta kannanotosta, Rautatieliikenteen päästöjä käsittelevä Euroopan komission työryhmä, versio 19403
- /7/ Tie- ja rautatieliikenteen meluntorjunnan teemapaketti 2008–2012, LVM:n julkaisuja 28/2007
- /8/ Tiehallinto, Ty3 81–98 Betonikaiteet 19.10.2006
- /9/ Tielaitos, Meluesteet, Tiehallinto, Tie- ja liikennetekniikka, Helsinki 1997
- /10/ Tielaitos, Teiden ja siltojen kaiteet, Tielaitoksen selvityksiä 67/ 1995
- /11/ Tielaitos, Meluesteperustukset, Tiehallinto, Kehittämiskeskus, Helsinki 1994
- /12/ Ratatekniset ohjeet (RATO) osat 2 Radan geometria (1.9.2000), 3 Radan rakenne (16.6.2008), 5 Sähköistetty rata (30.7.2004), 6 Turvalaitteet (3.9.2007), 8 Sillat (1.4.2000), 11 Radan päällysrakenne (15.8.2002), 17 Radan merkit (30.3.2009)
- /13/ Ratahallintokeskuksen julkaisu B 11 Rautateiden meluesteet, 23.8.2004
- /14/ Ratahallintokeskuksen julkaisu B 23 Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitussuunnittelu, 16.3.2009
- /15/ Ratahallintokeskuksen julkaisu B 24 Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO), 1.6.2009
- /16/ Euroopan laajuinen tavanomainen rautatiejärjestelmä ja suurten nopeuksien rautatiejärjestelmän yhteentoimivuuden tekninen eritelmä, Soveltamisala: Osajärjestelmät, Infrastruktuurit ja liikkuva kalusto, Näkökohta: Saavutettavuus liikuntarajoitteisille henkilöille
- /17/ SFS-EN 1991-2 Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 2: Siltojen liikennekuormat
- /18/ Suomen rakentamismääräyskokoelma
- /19/ VR-Cargo, eri vaunutyyppit ja niiden mitoitus



Meluntorjuntaan liittyvien tutkimusten ja selvitysten esittelyaineistoa:

- /20/ Acoustic Control AB; Spårnära bullerskärm typ Z-bloc, Grundläggande teori för spårnära bullerskärmar- kortfattad redogörelse
- /21/ Expert Noise and Vibration, Malmö 2/ 2009, Current Noise Issues, Deutsche Bahn
- /22/ On railway noise modelling – an approach to the European interim method, J.L. Bento Coelho and D. Alarcão, Acoustics 08 Paris
- /23/ Quiet City Transport, In-field measurements of the influence of low barrier on railway noise 2008, Jens Nielsen, Oskar Lundberg, Nicola Renard
- /24/ Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures, Noise reduction at Source: EU Funded Projects, Brian Hemsworth, Pisa 9-10 November 2006
- /25/ Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures, Railway noise mitigation at source: An overview of possible solutions, Gaetano Licitra, Pisa 9-10 November 2006
- /26/ Reducing Railway Noise in Urban Areas, SILENCE seminar, Benton, Asmussen, Jones, Paris 2008
- /27/ Urban transport noise abatement, Challenges for the future: railway noise, SILENCE seminar, P.E. Gautier/ F. Poisson, Paris 2008 Z-Bloc Norden, melukaiteen esittelymateriaali

[www.banverket.se](http://www.banverket.se)

[www.bg-bahnen.de](http://www.bg-bahnen.de)

[www.ecoprofile.se](http://www.ecoprofile.se)

Environment Hong Kong 2006, Chapter 7 Noise, [www.epd.gov.hk/epd/misc/ehk06/eng/text/e07.index.html](http://www.epd.gov.hk/epd/misc/ehk06/eng/text/e07.index.html)

Railway Technical Research Institute, Japan, [www.rtri.or.jp](http://www.rtri.or.jp)

[www.scottish.parliament.uk](http://www.scottish.parliament.uk)

Valokuvat Osg-vaunu, Kari Raittila

Melukartat Destia Oy

Meluesteiden valmistajien www-sivuja:

[www.agcm-biegen.com](http://www.agcm-biegen.com)

[www.ferrondo.de](http://www.ferrondo.de)

[www.heidelbergcement.com](http://www.heidelbergcement.com)

[www.kohlhauer.com](http://www.kohlhauer.com)

[www.nordform.se](http://www.nordform.se)

[www.ruukki.com](http://www.ruukki.com)

[www.terrawing.se](http://www.terrawing.se)

[www.campen.nl](http://www.campen.nl)

[www.gnf.eu](http://www.gnf.eu)

[www.holzbau-allenbach.ch](http://www.holzbau-allenbach.ch)

[www.laerm-schutz-wand.de](http://www.laerm-schutz-wand.de)

[www.proholz.at](http://www.proholz.at)

[www.slg-online.com](http://www.slg-online.com)

[www.zblocnorden.com](http://www.zblocnorden.com)

## RATAHALLINTOKESKUKSEN JULKAISUJA A-SARJASSA

- 1/2007 Akselipainon noston tekniset edellytykset ja niiden soveltuminen Luumäki–Imatra-rataosuudelle
- 2/2007 Radan kulumisen rajakustannukset 1997–2005
- 3/2007 Marginal Rail Infrastructure Costs in Finland 1997–2005
- 4/2007 Ratarakenteen kuormituksen määrittäminen stabiliteettitarkasteluihin
- 5/2007 Pohjois-Suomen rataverkon tavaraliikenteen kehittäminen
- 6/2007 Suomen rataverkon tärinäselvitys.  
Kirjallisuuskatsaus ja tärinäkohteet vuosina 2000–2006
- 7/2007 Luvattomien radanyhteyksien välttäminen
- 8/2007 Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa
- 9/2007 Markkinoilletulo ja rautatiemarkkinoiden muutos kotimaisen tavaraliikenteen avautuessa kilpailulle Suomessa
- 10/2007 Rautatieliikenne 2030 -suunnitelman liikenne-ennusteet
- 11/2007 Logistiikkakeskusten tie- ja ratayhteydet
- 1/2008 Aikataulusuunnittelu ja rautatieliikenteen täsmällisyys
- 2/2008 Rautatieliikenteen simuloinnin merkitys ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa
- 3/2008 Rautateiden liikkuvan kaluston kunnon valvonta runkoverkolla
- 4/2008 Raakapuukuljetusten tulevaisuuden haasteet
- 5/2008 Perussolmuraapihojen merkitys ja näkymät osana kuljetusjärjestelmää
- 6/2008 Tasoristeysten kansirakenteet
- 7/2008 Ratojen alusrakenteissa käytettyjen materiaalien routimisherkyys
- 8/2008 Kolarin seudun kaivos Hankkeet
- 9/2008 Rataverkon pohjavesialueiden riskienhallinnan kehittäminen
- 10/2008 Rautatieliikenteen pitkän aikavälin suunnitteluprosessin kehittäminen
- 11/2008 Rautatieliikenteen häiriöiden analysoinnin kehittäminen
- 12/2008 Junan pyörävikojen havainnointi raiteeseen asennetulla mittalaitteella
- 13/2008 A Collaborative Process of Product Lifecycle Management for Railway Signalling Infrastructure
- 14/2008 Rataverkon jatkosähköistykseen hankearvioinnin päivitys
- 15/2008 Rautatieliikenteen täsmällisyyden mittaaminen
- 16/2008 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen radanpidossa. Esiselvitys
- 17/2008 Kehäradan kiintoraideselvitys
- 18/2008 Rautatiekuljetusten riskienhallinta. Esiselvitys
- 1/2009 Rataverkon kunnon ja sen liikenteellisten vaikutusten visualisoinnin lähtökohdat
- 2/2009 Sähkömagneettisten kenttien kartoitus Ratahallintokeskuksen hallinnoimalla rataverkolla
- 3/2009 Ratahallintokeskuksen tutkimus- ja kehittämisstrategia
- 4/2009 Raakapuun terminaali- ja kuormauspaikkaverkon kehittäminen
- 5/2009 Nopean junaliikenteen kehittämisen vaikutukset. Kirjallisuustutkimus
- 6/2009 Junaliikenteen informaatiokeskuksen toimintatapa. INTO-hanke
- 7/2009 Esiselvitys akseli- ja metrikuormien korotuksen yleisestä teknis-taloudellisuudesta ja case-tarkastelu Kemi–Kolari-rataosalla
- 8/2009 Etelä-Suomen kauko-ohjausjärjestelmän (ESKO) käyttöönotto ja muutokset liikenteenohjaustyössä
- 9/2009 Olemassa olevien ratapenkereiden stabiliteetin laskenta elementtimenetelmällä





**RATAHALLINTOKESKUS  
BANFÖRVALTNINGSCENTRALEN**

Julkaisija:  
Ratahallintokeskus  
Kaivokatu 8, PL 185, 00101 Helsinki  
puh. 020 751 5111, fax 020 751 5100  
[www.rhk.fi](http://www.rhk.fi)

ISSN 1455-2604  
ISBN 978-952-445-299-1